பௌதிகம் - துணைப்பாடம்

(பகுதி—II)

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

கா. வே. சுப்பிரமணியன்,

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண் — 239

பௌதிகம் - துணைப்பாடம்

(பகுதி—II)

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

கா. வே. சுப்பிரமணியன், பி.எஸ்சி. (ஆனர்ஸ்),
விரிவுரையாளர், இயற்பியல்துறை,
ஏ. வி. சி. கல்லூரி, மாயூரம்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—1970
Revised Edition—April, 1976

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 239

© Government of Tamilnadu

PHYSICS-ANCILLARY—Part II for B.Sc.

K. V. SUBRAMANIAN

Price Rs. 8-20

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture) New Delhi.

Printed out of the Paper allotted by the Government of India.

Printed by

M/s Solden & Co.,
762/763, Triplicane High Road,
Madras-600 005.

பதிப்புரை

பௌதிகம் - துணைப்பாடம் (பகுதி-II) என்ற இந் நூல், தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் சார்பில் வெளியான 239 ஆவது வெளியீடாகும். இதன் முந்தைய பதிப்புப் படிகள் அனைத்தும் விற்பனையாகி விட்டன. ஆதலின், இப்பொழுது இந் நூல் மீண்டும் வெளிவருகின்றது. இந் நூல், மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்'தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

பொருளடக்கம்

i. ஒளியியல்

பக்கம்

1. அறிமுகம் ... 1
2. எதிரொளிப்பு ... 3
சாய்வு ஆடிகள்—ஒற்றை ஒளி நெம்புகோல்—கோள ஆடிகளில் எதிரொளிப்பு—குவிய தூரம் காணல்.
3. ஒளி விலகல் ... 14
ஒளி விலகல் எண்—முப்பட்டகம்—வில்லைகள்—வளைவு தளத்தில் ஒளிவிலகல்—குவி வில்லையில் ஒளி விலகல் — தொடு வில்லைகள்—குழிவில்லை—திரவ வில்லை – குவி தளத்தின் ஆரம் காணல்—பாய்ஸ் முறை—திரவத்தின் ஒளி விலகல் எண் காணல்.
4. ஒளியியற் கருவிகள் ... 31
தொலைநோக்கி—உருப் பெருக்கு திறன் — கலிலியோ தொலைநோக்கி—பைனகுலர்ஸ்—நிற மாலைமானி — பகுதிகள் — முப்பட்டகக் கோணத்தை அளவிடல் சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தை அளவிடல்—திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் காணல்.
5. நிறப்பிரிகையும் நிறமாலையும் ... 42
நிறமாலை இயல்—நிறமாலைக் காட்டி—தொடர் நிறமாலை—உட்கவர் நிறமாலை—சூரிய (கதிர்) நிறமாலை—புற ஊதா, அகச் சிவப்பு நிறமாலைகள்.
6. ஒளியின் திசை வேகம் ... 52
ஃபோகால்ட்-சுழலும் ஆடிமுறை—மைக்கேல்சன் முறை.

பக்கம்

7. ஒளிபற்றிய கொள்கைகள் ... 59
துகள் கொள்கை—அலைக் கொள்கை.

8. ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு ... 71
எங் செய்த சோதனை — ஃப்ரனல் செய்த சோதனை—மென் தகடுகளின் வண்ணங்கள்—மென் தகட்டை ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளியின் குறுக்கீடு —ஆப்பு வடிவ மென் தகடு—நியூட்டன் வளையங்கள்.

9. விளிம்பு விளைவு ... 94
ஃப்ரனல் விளக்கம்—ஒளி கடத்தும் சமதளக் கீற்றணி—பிரிதிறன்—பகுதிறன் — ஒளியின் அலை நீளம் காணல் — முப்பட்டக நிறமாலையும்— கீற்றணி நிறமாலையும்.

10. தள விளைவு ... 107
கயிற்று உவமை—எதிரொளிப்பும் தள விளைவும் —ப்ரூஸ்டர் விதி—பயட்—தளவிளைவு காட்டி— இரட்டை விலகல் — நைக்கால் பிரிசம் — பொலராய்டு—ஒளியியல் சுழற்சி—பயட் கூறிய பட்டறி விதிகள் — லாரன்ஸ்-அரை நிழல் பொலாரி மீட்டர்.

ii. ஒலியியல்

1. அறிமுகம் ... 133
குறுக்கு அலைகளும் நெட்டலைகளும்.

2. சீரிசை இயக்கம் ... 137
ஒலியின் திசை வேகம்—காற்றின் அழுத்தம், வெப்ப நிலை போன்றவற்றைப் பொறுத்து ஒலியின் வேகத்தில் உண்டாகும் மாறுதல்கள்—ஒலியின் விலகல்—நிலை அலைகள்—இயல்பு அதிர்வு—வலிந்த அதிர்வு—ஒத்ததிர்வு.

3. கம்பிகளின் அதிர்வு ... 147
ஒற்றைக் கம்பி சோனா மீட்டர்.

4. காற்றுக் குழாய்களில் உண்டாகும் அதிர்வுகள் ... 156

5. கட்டட ஒலியியல் ... 162

6. புலனாகா ஒலியியல் ... 165
பண்புகள்.

iii. நிலைமின்னியல்

பக்கம்

1. அறிமுகம் ... 171
இருமடி எதிர் விகித விதி—நிலைமின் அழுத்தம்—நிலைமின்புலம்—மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்புலத்திற்குமுள்ள தொடர்பு — முனைவினை — மின்னல் தடுப்பான் — வாண் டி கிராஃப் மின்னியற்றி—மின் தூண்டல்—காஸ் தேற்றம்—கூலம் விதி—நிலை மின்னழுத்தம்.

2. மின்தேக்கிகள் ... 186
இணைத்தகடு மின் தேக்கி—கலப்பு ஊடக இடைவெளி கொண்ட இணைத் தகடு மின்தேக்கி—பல்வகையான இணைத்தகடு மின் தேக்கிகள்—மாறு மின்தேக்கி—மின்தேக்கி இணைப்புகள்.

iv. மின்னோட்டவியல்

1. முன்னுரை ... 199
மின்னழுத்த வேறுபாடு—மின்னாற்றல் மின்னோட்ட அலகுகள்—நேர்க்கடத்தியைச் சூழ்ந்துள்ள காந்தப்புலம்—இணைக் கடத்திகளிடையே உள்ள விசை—ஆம்பியர் வரையறை.

2. மின்னோட்டமும் காந்தப்புலமும் ... 207
வட்டச் சுருள்—லாப்லாஸ் விதி—காந்தப் புலத்திலமைந்த மின்னோட்டம் பாயும் கம்பியின் மீது உண்டாகும் விசை—பார்லோ சக்கரம்—இடதுகை பெருவிரல் விதி—இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டர்—டி'ஆர்சன்வல் கால்வனு மீட்டர்—அலைவற்ற கால்வனு மீட்டர்—கால்வனு மீட்டரின் மின்தடை காணல்—நுட்பத் தன்மை எண்—அம்மீட்டரும் வோல்ட் மீட்டரும்.

3. மின்காந்தத் தூண்டல் ... 221
முன்னுரை—ஃபாரடே விதி—லென்ஸ் விதி—தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் அளவு—சுழல் மின்னோட்டம்—பரிமாற்ற மின் தூண்டல்—இணைச் சுருள்கள்—அகமின் நிலைமத் தகவு—தூண்டு மின்சுருள்—மின் மாற்றிகள்—டைனமோ—டி. சி. டைனமோ—டைனமோ வகைகள்.

பக்கம்

4. ஓம் விதி ... 249
மின் தடையும் வெப்ப நிலையும்—மின் தடை வெப்ப நிலை எண்—கடத்துதிறன்—தடம் மாற்றி—கிர்ச்சாவ் விதிகள்.

5. வீட்ஸ்டோன் வலை அமைப்பு ... 258
பி. ஓ. பெட்டி.

6. மின்னழுத்தமானி ... 264
கிளார்க் மின்கலம்—வெஸ்டன் காட்மியம் மின் கலம்—அகமின் தடை காணல்—மின் தடை காணல்—வோல்ட் மீட்டரை அளவீடு செய்தல்—அம்மீட்டரை அளவீடு செய்தல்.

V. காந்தவியல்

1. அறிமுகம் ... 279
காந்தத் தூண்டல்—இருமடி எதிர் விகித விதி.

2. காந்தப் புலமும் விசைக் கோடுகளும் ... 288
பாய்மச் செறிவு—காந்தத் திருப்புத் திறன்—காந்தமாக்கற் செறிவு—காந்தம் திருப்பப்படும் போது செய்யப்படும் வேலை—காந்தப்புலத்தின் படம்.

3 விலகு காந்தமானி ... 299
திருப்புத் திறனை ஒப்பிடல்—இருமடி எதிர் விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்.

4. அலைவு காந்தமானி ... 307
புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறுகளை ஒப்பிட்டறிதல்—புலச் செறிவினை ஒப்பிடல்—கட்டை காந்தங்களின் திருப்புத் திறனை ஒப்பிட்டறிதல்—காந்த அழுத்தம்—கட்டை காந்தத்தின் அச்சிலமைந்த ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் காந்த அழுத்தம்—நடுக்குத்துக் கோட்டிலமைந்த புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்—எங்கோ ஒரு புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்.

5. பொருள்களின் காந்தவியல் பண்புகள் ... 323
காந்த ஏற்புத் திறன்—ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருள்கள்—பாரா காந்தப் பொருள்கள்—டையா காந்தப் பொருள்கள்—காந்தமாக்கற் செறிவும் காந்தமாக்கும் புலமும்—தயக்க நிலையும்

பக்கம்

தயக்க நிலைக் கண்ணியும்—எஃகு, தேனிரும்பு ஆகியவற்றின் காந்த இயல்புகள்.

6. பூமியின் காந்தப்புலம் ... 334
அடிப்படைக் கூறுகள்—இடைமட்டக் கூறு—ஒதுக்கக் கோணம்—சரிவுக் கோணம்—மாலுமிகளின் திசைகாட்டி—சரிவு வட்டம்.

vi. எலெக்ட்ரானியல்

1. எலெக்ட்ரான் ... 343
வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம்—கேதோட் கதிர்கள்—கேதோட் கதிர்களின் e/m மதிப்பு காணல் — தாம்சன் முறை — எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் காணல்—கேதோட் கதிர் ஆசிலோகிராஃப்.

2. வெப்ப அயனி வெளியீடு ... 357
வெப்ப அயனி வால்வுகள் — டையோடு — டிரையோடு — டிரையோடு பண்பு வரைபடங்கள்—டிரையோடு பெருக்கி—டிரையோடு திருத்தி —டிரையோடு பண்பேற்றி.

3. அலை பரப்பியும் ஏற்பியும் ... 370
அலைபரப்பி—படிக ஏற்பி—டையோடு ஏற்பி—டிரையோடு ஏற்பி.

4. ஒளிமின் விளைவு ... 375
ஹால்வாக்ஸ் சோதனை — ஒளிமின் விளைவு விதிகள்—ஒளிமின்கலம்.

5. வெப்பமின் விளைவு ... 379
சீபெக் விளைவு—பெல்டியர் விளைவு—தாம்சன் விளைவு.

6. எக்ஸ்-கதிர்கள் ... 386
வாயுக் குழாய்—கூலிட்ஜ் குழாய்—ப்ராக் விதி —எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை.

7. கதிரியக்கம் ... 399
ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா கதிர்கள்—இடப்பெயர்ச்சி விதி—அணுச் சிதைவு விதி—செயற்கை அணு மாற்றம்—செயற்கைக் கதிரியக்கம்.

பக்கம்

8. அணுக்கரு ஆற்றல் ... 408
அணுவைப் பிளத்தல் — தொடர் இயக்கம்— அணுகுண்டு—அணு உலை—அணுக்கரு உருக்கல் —ஹைட்ரஜன் குண்டு.

9. காஸ்மிக் கதிர்கள் ... 418
கதிர்களின் வகைகள்—காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு.

10. அணுவின் கட்டமைப்பு ... 421
ருதர் ஃபோர்ட்—அணு மாதிரியமைப்பு—போர் அணு மாதிரி—அடிக்கோள்கள்—சலுகை வீதியின் ஆரமும் ஆற்றல் அளவும்—குவான்டம் எண்—ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறமாலை — லைமன் தொடர் — பாமர் தொடர் - பாஷன் தொடர்— பிராக்கெட் தொடர்—சுற்றுப்பாதைப் படம்— அணு எண்ணும் நிறை எண்ணும் — தனிம அட்டவணை.

11. ரேடார் ... 436
முன்னுரை—பரப்பியும் ஏற்பியும்.

12. தொலைக்காட்சி ... 439
முன்னுரை—இக்னஸ்கோப்—கினஸ்கோப்.

கலைச்சொற்கள் ... 444

குறிப்பு : இதே தலைப்பில் முதல் புத்தகம், இரண்டாம் புத்தகம் என முன்பு வெளியிடப்பட்டிருந்தவை இப்போது ஒரே நூலாக வெளியிடப்படுகின்றது.

ஒளியியல்

(LIGHT)

1. அறிமுகம்

"இறைவா இருளிடை ஒளியைத் தா" என்கிறான் ஜே. எச். நியூமன் என்ற மேலை நாட்டு இலக்கிய மேதை. "ஒளியே நீ தெளிவு போலும்; அறிவின் மகள் போலும்; நீ வாழ்க," என்கிறான் நம் நாட்டுப் பாரதி. கண்ணுக்குப் 'பார்வை' என்ற உணர்ச்சியைத் தருகின்ற ஆற்றலே ஒளி என்பது. ஒரு பொருளின் மீது விழுகின்ற ஒளி அப் பொருளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு நமது கண்ணை வந்தடையும்போதுதான் அப் பொருளை நாம் காண் கிறோம். இருட்டறையில் பொருள் ஒன்று இருக்கிறது; நாமும் அங்கு இருக்கிறோம்; நமது கண்ணும் நல்ல நிலையில் இருக்கிறது; ஆனால், ஒளி மட்டும் இல்லை என்று வைத்துக்கொள்வோம்; என்ன ஆகும்? கண்ணிருந்தும் காண முடியாத குருடனாகிறோம்; பொருளின்மீது ஒளி விழுந்தாலும் அவ்வாறு விழுந்த ஒளி நமது கண்ணை அடையவில்லை என்றால் நம்மால் அதனைக் காண இயலாது. இக் காரணம்பற்றித்தான் இந் நாள்வரை நிலவின் (moon) மறுபக்கத்தைப் பூமியிலிருந்து நம்மால் காண முடியாமற் போய்விட்டது. ஒளியின் உதவியால் நாம் பிற பொருள்களைக் காணுகிறோம். ஆனால், ஒளியிருக்கிறதே அது நம் கண்ணுக்குத் தெரியாத ஒன்று. பொருளின்மீது விழாத வரையில் ஒளியை நம்மால் காணமுடியாது.

கதிரவனைப் போன்று தானாகவே ஒளியினை உமிழும் பொருள் களைத் தன்னொளி படைத்த பொருள்கள் (self-luminous) என்றும் அவ்வாறின்றித் தற்பொலிவுள்ள பிற பொருள்களிலிருந்து வரு கின்ற ஒளியினைப் பெற்றுக் காட்சி தருகின்ற பொருள்களைத் தன்னொளி படைக்காப் பொருள்கள் (non-luminous) என்றும் கூறுகிறோம். மேற்கூறிய விளக்கத்தின்படி, உலகிலுள்ள பல பொருள்கள் தன்னொளி படைக்காப் பொருள்களே ஆகும்.

கதிரவன், விண்மீன்கள், மின்மினிப் பூச்சி, விளக்குகள் போன்ற சில பொருள்களே தன்னொளி படைத்த பொருள்களாகும்.

ஒளியை வைத்து ஊடகங்களை (medium) மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம் : (1) ஒளி புகுந்து செல்லக்கூடிய ஊடகங்களை ஒளி புகும் ஊடகங்கள் (transparent) என்கிறோம். (எ. கா.) கண்ணாடி, நீர், காற்று போன்றவை. (2) ஒளியின் ஓட்டத்தைத் தடுத்து நிற்கும் ஊடகங்கள் ஒளிபுகா ஊடகங்கள் (opaque) எனப்படும். (எ.கா.) மரம், இரும்புத் தகடுகள், கற்சுவர் போன்றவை. (3) ஒளியைச் செல்லவிட்டு ஆனால், பார்வையைத் தடை செய்கின்ற ஊடகங்கள் ஒளி கசியும் ஊடகங்கள் (translucent) எனப்படும். (எ. கா.) எண்ணெய் தடவப்பட்ட காகிதம், தேய்க்கப்பட்ட கண்ணாடி, மேகக் கூட்டம் போன்றவை.

ஒளி வினாடிக்கு 186,000 மைல் வேகத்தில் செல்லும் இயல்புடையது. ஒருபடித்தான ஒளி புகும் ஊடகத்தில் ஒளி நேர்க் கோட்டிலேயே செல்லும். இதனை ஒளியின் நேர்க்கோட்டுச் செலவு (rectilinear propagation) என்பர். ஒளி செல்லும் பாதையைக் குறிக்கும் மெல்லிய நேர்க் கோடு ஒளிக் கதிர் எனப் படும். அத்தகைய கதிர்கள் பலவற்றின் தொகுதி ஒளிக்கற்றை (beam of light) எனப்படும். ஒளிக்கற்றை மூவகைப்படும். அவை யாவன : (1) இணைகற்றை — இதிலுள்ள ஒளிக்கதிர்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமைந்திருக்கும். (2) ஒருங்கு கற்றை — இதிலுள்ள ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியை நோக்கி ஒருங்குவன. (3) விரிகற்றை — இதிலுள்ள கதிர்கள் ஒரு புள்ளியிலிருந்து தொடங்கிப் பல திசைகளில் விரிந்து செல்வன.

2. எதிரொளிப்பு
(Reflection)

ஆடி என்றால் என்ன ?

வழவழப்பான, ஒளியை எதிரொளிப்பதற்கேற்றவாறு பளபளப்பாக்கப்பட்ட, ஒளி புகாப் பரப்பு ஆடி எனப்படும். சமதளப் பரப்புக் கொண்ட ஆடி சமதள ஆடி (plane mirror) என்றும் வளைந்த பரப்புடைய ஆடி, கோள ஆடி (spherical mirror) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

ஆடி ஒன்றின்மீது படுகின்ற ஒளிக்கதிர் அது எங்கிருந்து வந்ததோ அதே ஊடகத்திற்குத் திருப்பி அனுப்பப்படும் நிகழ்ச்சி எதிரொளிப்பு (reflection) எனப்படும்.

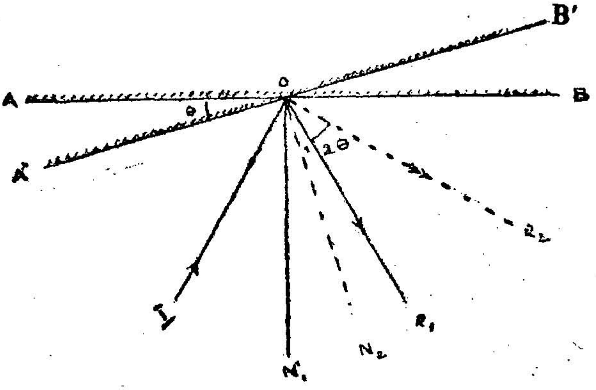
சாய்வு ஆடிகள்
(Inclined mirrors)

ஒன்றை ஒன்று பார்த்தபடி, ஒன்றுக்கொன்று 180° கோணத்திற்குக் குறைந்த ஒரு கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும் ஆடிகள் சாய்வு ஆடிகள் எனப்படும். அத்தகைய இரு ஆடிகளுக்கு இடையே வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் தோற்றுவிக்கும் பிம்பங்களின் எண்ணிக்கை $\frac{360}{\theta} - 1$ ஆகும். இதில் θ என்பது ஆடிகளுக்கு இடையே உள்ள கோணத்தைக் குறிக்கிறது.

சுழலும் சமதள ஆடி
(Rotating plane mirror)

ஒரு சமதள ஆடி எத்தனை டிகிரி கோணத்தில் திரும்புகிறதோ, அதைப் போல இரு மடங்கு கோண அளவில்

எதிரொளிப்புற்ற கதிர் திரும்பும். அஃதாவது, ஆடியை அது இருக்கும் நிலையிலிருந்து θ டிகிரி திருப்பினால், பிரதிபலிக்கப்பட்ட கதிர் அதன் முந்தைய நிலையிலிருந்து 2θ டிகிரி திரும்பும். இவ் உண்மையைப் பின்வருமாறு தெளியலாம் :



படம் 1

AB என்னும் நிலையிலிருந்த சமதள ஆடி θ டிகிரி திரும்பி $A'B'$ என்ற புதிய நிலைக்கு வருகிறது என்று கொள்வோம். IO என்பது படுகதிர். ON_1 என்பது முதல் நிலையில் ஆடிக்குப் படுகைப் புள்ளியில் வரையப்பட்ட குத்துக்கோட்டைக் குறிக்கிறது. ON_2 என்பது இரண்டாவது நிலையில் ஆடிக்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடாகும். OR_1 என்பது முதல் நிலையில், எதிரொளிப்புற்ற கதிரின் பாதையைக் குறிக்கிறது. OR_2 என்பது ஆடி θ டிகிரி திரும்பிய பின்னர் ஏற்படும் எதிரொளிப்புற்ற கதிரின் பாதையைக் குறிக்கிறது. ஆடி θ டிகிரி திரும்பும்போது, அதற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடும் அதே θ டிகிரி திரும்புமாதலால், $N_1ON_2=\theta$ ஆகும்.

$ION_1=i$ என்றால் $ION_2=i+\theta$ ஆகும்.

எதிரொளிப்பின் முதல் விதியின்படி,

$$ION_1=N_1OR_1=i \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, $IOR_1=ION_1+N_1OR_1=2\,i$ ...(1)

இரண்டாவது நிலையில்,

$$\text{படுகோணம்} = ION_2 \text{ ஆகும்}$$
$$= i+\theta.$$

முதல் விதியின்படி, $ION_2 = N_2OR_2=i+\theta$ ஆகும்

$$\text{எனவே,}\quad IOR_2 = ION_2 + N_2OR_2$$
$$= (i+\theta)+(i+\theta)$$
$$= 2i+2\theta \text{ ஆகும்.} \qquad ...(2)$$

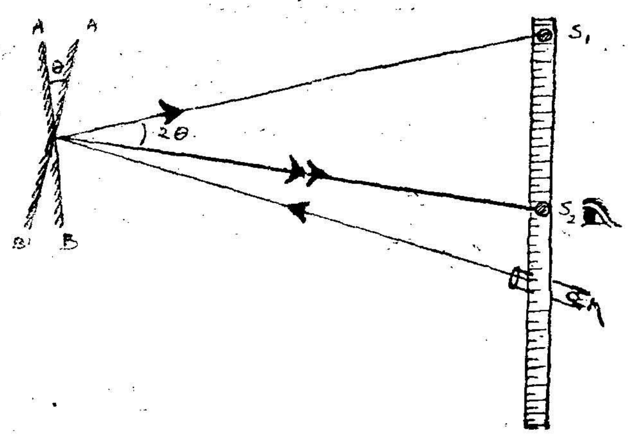
R_1OR_2 என்பது எதிரொளிப்புக் கதிருக்கு ஏற்பட்ட திருப்பத்தின் அளவினைக் குறிக்கும்.

$$R_1OR_2 = IOR_2 - IOR_1$$
$$= 2i+2\theta - 2i$$
$$= 2\theta$$

எனவே, ஆடி θ டிகிரி திரும்பும்போது எதிரொளிப்புற்ற கதிர் 2θ டிகிரி திரும்பும் என்னும் உண்மை தெளியப்படுகிறது. இவ் வுண்மை ஆய்வுச் சாலையில் துல்லியமான அளவு முறைகளுக்குப் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

விளக்கு—அளவுகோல் அமைப்பு (Lamp and Scale arrangement)

ஒரு கருவியின், திரும்புகின்ற சுழல்கின்ற பகுதியில் *AB* என்னும் சிறிய சமதள ஆடி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 2

அளவுகள் குறிக்கப்பட்ட, ஒளிகசியும் பொருளால் செய்யப்பட்ட அளவுகோல் ஒன்றின் அருகே, இணையான ஒளிக்கற்றையைத் தரக்கூடிய மின் விளக்கு அமைப்பு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சாதாரணமாக ஆடிக்கும் அளவுகோலுக்குமிடையே ஒரு மீட்டர்

தூரமிருக்கும். விளக்கு மற்றும், அளவுகோல் இவைகளின் நிலைகளைத் தக்கவாறு சீர் செய்து விளக்கிலிருந்து கிளம்பும் இணைக் கற்றை ஆடியில் விழுந்து, பிரதிபலிக்கப்பட்டு அளவுகோலின் மையப்பிரிவில் விழுமாறு செய்யவேண்டும். விளக்கு அமைப்பில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் குறுக்கிழையின் (cross wires) தோற்றம் அளவுகோலில் நன்கு தெரியும். முதலில் குறுக்கிழை அளவுகோலில் S_1 என்ற பிரிவுடன் ஒன்றுவதாகக் கொள்வோம். ஆடி θ டிகிரி திரும்பிய பின்னர், குறுக்கிழை S_2 என்ற பிரிவுடன் ஒன்றுவதாகக் கொள்வோம். அளவுகோலுக்கும் ஆடிக்குமிடையே உள்ள தூரம் D என்போம்.

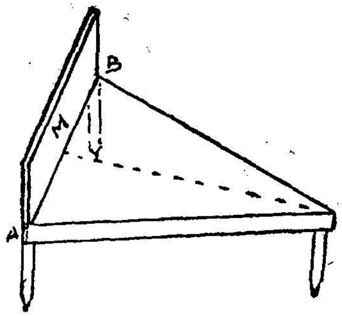
$$\text{கோணம்} = \frac{\text{வில்லின் நீளம்}}{\text{ஆரம்}} \text{ என்னும் வாய்பாட்டின்படி,}$$

$$2\theta = \frac{S_1S_2}{D} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{ஆகவே, } \theta = \frac{S_1S_2}{2D} \text{ ஆகும்.}$$

ஒற்றை ஒளி நெம்புகோல்
(Single optic lever)

இதில் மூன்று கூர்மையான கால்களின்மீது நிற்கும் முக்கோண அல்லது செவ்வக வடிவங் கொண்ட உலோகத் தகடு ஒன்று உண்டு. கால்களின் கூர்முனைகள் இருசமபக்க முக்கோணத்தின்



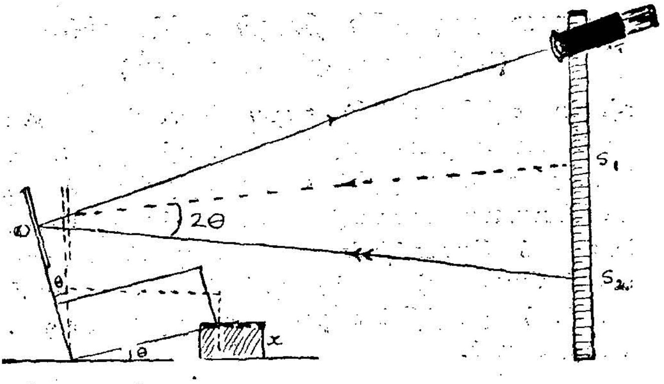
படம் 3

கோணமுனைகளாக அமைந்திருக்கின்றன. அம் முக்கோணத்தின் அடிப்பக்கத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் கால்கள், சம உயரம்

உள்ளவைகளாகவும், ஒன்றுக்கொன்று அண்மையிலும் இருக்கின்றன. இவை பின்புறக் கால்கள் எனப்படுகின்றன. மூன்றுவது கால் முன்கால் எனப்படும். பின்புறக் கால்களை இணைக்கும் கோட்டின்மீது செங்குத்தாகச் சிறிய சமதள ஆடி ஒன்று நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது.

இக் கருவி மெல்லிய தகடுகளின் தடிப்பினை (thickness) அளவிடவும், சூடேற்றப்பட்ட உலோகத் தண்டுகளின் நீளத்தில் ஏற்படும் சிறு மாற்றங்களைத் துல்லியமாக அளவிடுவது போன்ற செயல்களுக்கும் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

எடுத்துக்காட்டாகத் தகடுகளின் தடிப்பினைப் பின்வருமாறு அளவிடலாம். முதலில் ஒளி நெம்புகோலை உண்மையான சமதளம் ஒன்றின்மீது வைக்கவேண்டும். பின்னர் இக் கருவியிலுள்ள ஆடிக்கு முன்னால் சுமார் 1 மீட்டர் தூரத்தில் தெளிவான பிரிவுகள் கொண்ட அளவுகோல் ஒன்றைச் செங்குத்தாக வைக்கவேண்டும். அளவுகோலுக்கு அருகே தொலைநோக்கி ஒன்றை அமைத்து ஆடியில் தெரியும் அளவுகோலின் பிம்பத்தைக் காணவேண்டும். தொலைநோக்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும்



படம் 4

குறுக்கிழைகளைக் கொண்டு அதற்கு நேராகத் தெரிகின்ற அளவுகோல் பிரிவினைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்போது S_1 என்னும் அளவுகோல் பிரிவு குறுக்கிழைகளுடன் ஒன்றுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். பின்புறக் கால்களை அசைக்காமல் முன்காலை மட்டும் சற்றுத் தூக்கி, அளவிடவேண்டிய தகட்டை

முன்காலுக்குக் கீழே வைக்கவேண்டும். இதனால் கருவி முழுதும் முந்திய நிலையிலிருந்து (படம் 4-ல் காட்டியபடி) θ டிகிரி சாய்கிறது. ஆகவே, ஆடியும் θ டிகிரி திரும்புகிறது. இப்போது தொலைநோக்கியில் குறுக்கிழைகளுடன் S_2 என்ற பிரிவு ஒன்றியிருப்பதைக் காணலாம். இப்போது S_1OS_2 என்பது 2θ ஆகும் என்பதை நாம் அறிவோம். ஆடிக்கும் அளவு கோலுக்குமிடையே உள்ள தூரம் D என்றும், அளவிட வேண்டிய தகட்டின் தடிப்பு x என்றும், பின்புறக் கால்களை இணைக்கும் கோட்டிற்கு முன்காலிலிருந்து வரையப்படும் குத்துக்கோட்டின் நீளம் l என்றும் கொண்டால்,

$$\theta = \frac{x}{l} \text{ என்றும், } 2\theta = \frac{S_1S_2}{D} \text{ என்றும் அறியலாம்.}$$

ஆகவே,

$$\frac{x}{l} = \frac{S_1S_2}{2D} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore x = \frac{S_1S_2}{2D} \times l$$

கோள ஆடிகளில் நிகழும் எதிரொளிப்பு
(Reflection at spherical mirrors)

ஒளியை எதிரொளிக்கக் கூடிய கோளம் ஒன்றின் சிறு பகுதியே கோள ஆடி எனப்படும். ஆடி எந்த ஒரு கோளத்தின் பகுதியோ, அந்தக் கோளத்தின் மையம் ஆடியின் **வளைவு மையம்** (Centre of Curvature) எனப்படும். ஆடி எந்த ஒரு கோளத்தின் பகுதியோ அக் கோளத்தின் ஆரம் ஆடியின் **வளைவு ஆரம்** (Radius of Curvature) என்றழைக்கப்படும். ஆடியிலுள்ள எதிரொளிப்புத் தளத்தின் வடிவ மையத்திற்கு **ஆடி மையம்** (pole) என்று பெயர்.

ஓர் ஆடியின் வளைவு மையம் மற்றும் ஆடி மையம் ஆகிய இரு புள்ளிகளின் வழியே செல்லும் நேர்க்கோட்டிற்கு ஆடியின் முதன்மை அச்சு (principal axis) என்று பெயர்.

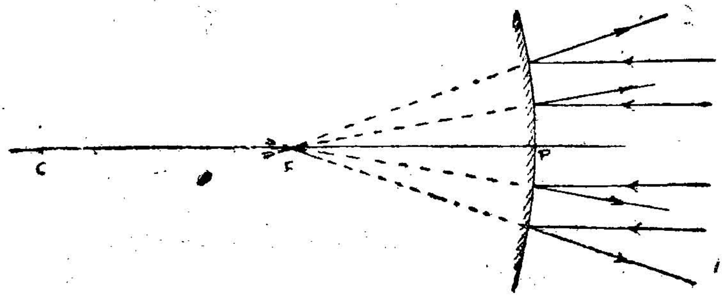
கோளத்தின் வெளிப்பக்கம் இரசம் பூசப்பட்டுக் குழிந்த உட்பக்கம் எதிரொளிக்கக் கூடியதாக இருப்பின் அது **குழி ஆடி** (concave mirror) என்றும், கோளத்தின் உட்பக்கம் இரசம் பூசப்

பட்டு, குவிந்துள்ள வெளிப்பக்கம் எதிரொளிக்கக் கூடியதாக இருப்பின், அது குவி ஆடி (convex mirror) என்றும் அழைக்கப் படுகிறது.

முதன்மைக் குவியம்
(Principal focus)

குவி ஆடி

குவி ஆடி ஒன்றின் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகவும் அண்மையிலும் சென்று, ஆடியில் பட்டு, எதிரொளிப்புறும் ஒளிக் கதிர்கள், முதன்மை அச்சிலுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து வெளி வருவதாகத் தோன்றும். அப் புள்ளி குவி ஆடியின் **முதன்மைக் குவியம்** எனப்படும்.



படம் 5
குவி ஆடி
(*F* என்னும் புள்ளி முதன்மைக் குவியமாகும்)

குவிய தூரம் (Focal length)

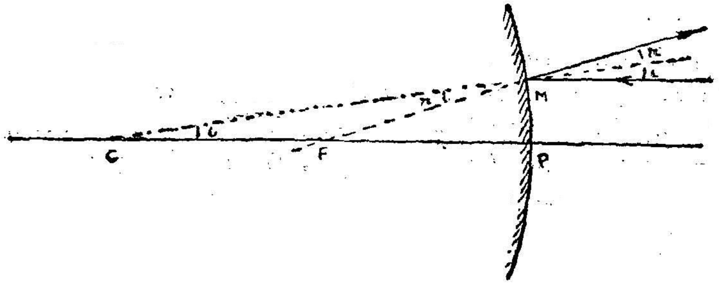
ஒரு கோள ஆடியின் முதன்மைக் குவியத்திற்கும் ஆடி மையத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் **குவிய தூரம்** எனப்படும்.

குறியீடு மரபு (Sign convention)

உண்மையானவை எல்லாம் நேர்க் குறியும் (+), மாய மானவை எல்லாம் எதிர்க் குறியும் (—) பெறும் என்பது மரபு ஆகும். இம் மரபின்படி, உண்மைக் குவியமுடைய குழி ஆடியின் குவிய தூரம் + குறியும், மாயக்குவியம் கொண்ட குவி ஆடியின் குவிய தூரம் — குறியும் பெறுகின்றன.

வளைவு ஆரத்திற்கும் குவிய தூரத்திற்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு

படம் 6-ல் *IM* என்னும் படுகதிர் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகச் சென்று ஆடியில் *M* என்ற புள்ளியில் பட்டு எதிரொளிப்புற்று F வழியே செல்கிறது. *MC* என்பது கோளத்தின் ஓர் ஆரமாகையால் அஃது எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு *M*-ல் வரையப்பட்ட குத்துக்கோடாக இருக்கும். எனவே, முதல் விதியின்படி,



படம் 6

(*P*. ஆடி மையம், *C*. வளைவு மையம், *F*. முதன்மைக் குவியம்)

$\angle IMC = \angle CMF$

ஆனால், $\angle IMC = \angle MCP$ ஆகும். ஏனெனில்,

IM என்பது *MP*-க்கு இணையாகும்.

எனவே, $\angle CMF = \angle MCP$ ஆகும்.

ஆகவே $\triangle CMF$-ல்

பக்கம் $CF =$ பக்கம் FM ஆகும்.

முதன்மைக் குவியத்திற்கான வரையறையில் கூறியவாறு, படுகதிர் முதன்மை அச்சுக்கு அண்மையிற் செல்லும். ஆதலால், *M* என்னும் படுகைப்புள்ளி ஆடி மையமாகிய *P*-க்கு மிக அருகில் இருக்கும். எனவே, *FM* என்பது *PF*-க்குச் சமம் என்று கொள்ளலாம்.

ஆகவே, $PC = PF + FM$ என்பதை

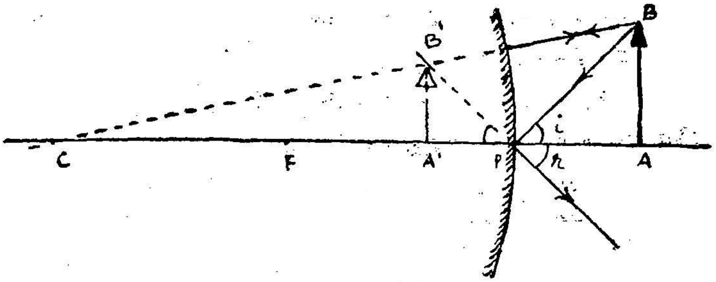
$PC = PF + PF$ என்றெழுதலாம்.

$= 2\,PF$

அஃதாவது $R = 2f$ ஆகும்.

வளைவு ஆரம் $= 2$ குவிய தூரம்

குவி ஆடிக்கு முன்னால் பொருளை எந்த தூரத்தில் வைப்பினும் மாயபிம்பமே கிடைக்கும்.



படம் 7

படத்தில் △ ABC-ன் மூன்று கோணங்களும் △ A'B'C-ன் மூன்று கோணங்களுக்கும் சமமாகும். ஆகவே, அவை வடிவொத்தவை.

எனவே,

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{AC}{A'C} \qquad \ldots(1)$$

இவ்வாறே △ ABP-ன் மூன்று கோணங்களும் △ A'B'P-ன் மூன்று கோணங்களுக்குச் சமம். ஆகவே அவை வடிவொத்தவையாகும்.

எனவே,

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{AP}{A'P} \qquad \ldots(2)$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றை ஒப்பிட்டு நோக்க,

$$\frac{AC}{A'C} = \frac{AP}{A'P} \text{ என்றாகும்.} \qquad \ldots(3)$$

படத்தில்

$$AC = AP + PC = u + 2f$$
$$A'C = PC - PA' = 2f - v$$
$$AP = u$$
$$A'P = v$$

AC, A'C, AP மற்றும் A'P ஆகியவற்றின் மேற்கூறிய மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{(u+2f)}{(2f-v)} = \frac{u}{v} \text{ என்றாகும்.}$$

குறுக்கே பெருக்கித் தக்கவாறு அமைக்க,

$$v(u+2f) = u(2f-v)$$
$$uv + 2vf = 2uf - uv$$
$$2vf - 2uf = -2uv$$
$$vf - uf = -uv \text{ என்றாகும்.}$$

இரு பக்கங்களையும் uvfஆல் வகுக்க,

$$\frac{vf}{uvf} - \frac{uf}{uvf} = \frac{-uv}{uvf}$$

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$$

மாயமானவை எல்லாம், — குறிபெறும் என்னும் மரபின்படி v-யும் f-ம் எதிர்வகைக் குறி பெறுகின்றன.

ஆகவே,

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{-v} = -\frac{1}{-f} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

உருப் பெருக்கம்
(Magnification)

பிம்பத்தின் நீள அளவிற்கும், பொருளின் நீள அளவிற்கும் உள்ள விகிதம் உருப்பெருக்கம் எனப்படும்.

நாம் கூறிய எல்லா வகை நிலைகளிலும் AB என்பது பொருளின் நீளத்தையும் $A'B'$ என்பது பிம்பத்தின் நீளத்தையும் குறிப்பதைக் கண்டோம்.

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{\text{பிம்பத்தின் நீள அளவு}}{\text{பொருளின் நீள அளவு}}$$

$$m = \frac{A'B'}{AB}$$

படம் 7-ல் $\triangle ABP$-ம் $\triangle A'B'P$-ம் வடிவொத்தவையாகும்; எனவே,

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'P}{AP} = \frac{v}{u}$$

எனவே, உருப்பெருக்கம் $m = \frac{A'B'}{AB}$

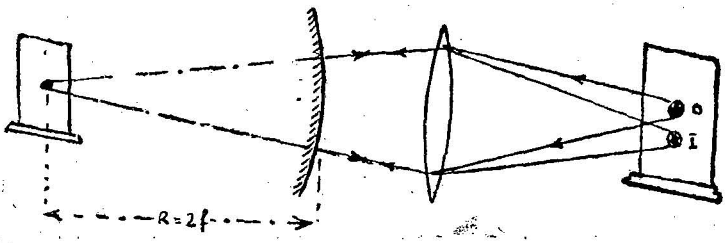
$= \frac{v}{u}$

∴ உருப் பெருக்கம்

$= \frac{\text{ஆடி மையத்திலிருந்து பிம்பத்தின் தூரம்}}{\text{ஆடி மையத்திலிருந்து பொருளின் தூரம்}}$

குவி ஆடியின் குவிய தூரம் காணல்

துணை வில்லை முறை அல்லது செங்குத்து எதிரொளிப்பு முறை : ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பி வலை திரை ஒன்றுக்கு முன்னால் தாங்கி ஒன்றில் குவிவில்லை ஒன்றை நிறுத்தவேண்டும். குவி வில்லையின் மறுபக்கத்தில் வெண்திரை ஒன்றை வைத்து அதை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி அதன் மீது கம்பி வலையின் தெளிவான பிம்பம் விழுமாறு செய்யவேண்டும். பிறகு திரைக்கும் லென்சுக்கும் இடையே குவியதூரம் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய குவி



படம் 8

ஆடியை, அதன் முகம் குவிவில்லையைப் பார்த்தவாறு இருக்கும்படி தாங்கி ஒன்றில் நிறுத்தவேண்டும். ஆடியை முன்னும் பின்னும் நகர்த்திக் கம்பி வலையாகிய பொருளுக்கு அருகிலேயே பிம்பம் விழுமாறு செய்யவேண்டும். இந் நிலையில் குவி ஆடியின் ஆடி மையத்திற்கும் திரைக்கும் இடையே உள்ள தூரம் குவி ஆடியின் வளைவு ஆரத்திற்குச் சமமாகும்.

பொருளுக்கு அருகிலேயே பிம்பம் விழ வேண்டுமென்றால் ஆடியின்மீது பட்ட கதிர்கள் வந்த வழியே திரும்பியிருக்க வேண்டும். அதற்குப் படுகதிர்கள் ஆடியின்மீது செங்குத்தாக விழுந்திருக்க வேண்டும். ஆகவே, ஆடியை வைப்பதற்கு முன்பு பிம்பம் கிடைத்த இடம் அவ் வாடியின் வளைவு மையமாக இருக்க வேண்டும்.

3. ஒளி விலகல்

(Refraction)

ஒருபடித்தான ஊடகத்தின் (homogeneous medium) வழியே செல்லும் ஒளிக்கதிர் நேர்கோட்டில் செல்லும் என்று கண்டோம். ஆனல், ஒளிக்கதிர், ஒருவகை ஊடகத்திலிருந்து மற்ருெரு வகை ஊடகத்தினுள் செல்லும்போது அவ் வூடகங்களைப் பிரிக்கும் தளத்தில் பாதை மாறி விலகிச்செல்கிறது. இந் நிகழ்ச்சி ஒளி விலகல் (Refraction) எனப்படும்.

சார்பற்ற ஒளி விலகல் எண்
(Absolute refractive index)

காற்றிலிருந்து கண்ணுடிக்கு ஒளி செல்லும்போது கிடைக்கின்ற $\frac{Sin\ i}{Sin\ r}$-ன் மதிப்பை கா μ கண் எனக் குறிக்கிருேம். அதைப் போலவே நீரிலிருந்து கண்ணுடிக்கு ஒளி செல்லும்போது கிடைக்கின்ற $\frac{Sin\ i}{Sin\ r}$-ன் மதிப்பினை நீர் μ கண்ணுடி எனக் குறிக்கிருேம். இவை இரண்டும் கண்ணுடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் குறிப்பிட்டாலும் அவற்றின் மதிப்பு சமமாக இருக்காது. எனவே, ஒரே ஊடகத்திற்கு ஒளி வருகின்ற முதல் ஊடகத்தைப் பொருத்து வெவ்வேறு ஒளிவிலகல் எண்கள் கணக்கிடப்படும். இதனுல் ஊடகங்களின் ஒளிவிலகல் எண்களை ஒப்பிட்டறிவதில் தொல்லைகள் உண்டாகும். இதனைத் தவிர்க்கச் சார்பற்ற ஒளிவிலகல் எண் என்ற ஒன்றை வரையறுத்துக்கொள்வது இன்றியமையாதது.

வரையறை : குறிப்பிட்ட வண்ணமுடைய ஒளிக்கதிர் ஒன்று காற்று அல்லது வெற்றிடம் என்னும் முதல் ஊடகத்திலிருந்து எடுத்துக் கொண்ட ஊடகத்திற்குள் விலக்கமுறும்போது, படு

கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கும், விலகு கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கும் உள்ள விகிதம் எடுத்துக்கொண்ட ஊடகத்தின் சார்பற்ற ஒளிவிலகல் எண் எனப்படுகிறது.

முப்பட்டகத்தின் பிரிதிறன்
(Dispersive power of a prism)

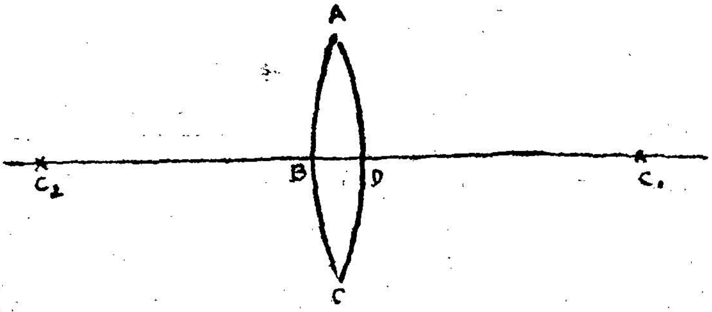
ஒற்றை நிற மூலத்திற்குப் பதிலாகக் கலப்பு நிற மூலத்தைக் கொண்டு பிளவை ஒளியூட்டுவதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட சிறும திசை மாற்றக் கோணமும் வெவ்வேறு ஒளிவிலகல் எண்களும் கிடைக்கும். எடுத்துக் காட்டாக வெண்ணொளி மூலத்தைப் பயன்படுத்தினுல் ஏழு நிறங்கள் (VIBGYOR) கிடைக்கும். நிறமாலையின் ஒரு கோடியில் ஊதா (violet) நிறமும், மறு கோடியில் சிவப்பு (red) நிறமும் அமைந்திருக்கும். மேற்சொன்னவாறு சிவப்புப் பிம்பத்திற்கான சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தையும், ஊதா பிம்பத்திற்கான சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தையும் தனித் தனியே அளவிட்டு அவற்றிற்கான ஒளி விலகல் எண்களைக் கணக்கிட வேண்டும். ஊதா நிறத்திற்கான ஒளிவிலகல் எண் μ_v என்றும், சிவப்பு நிறத்திற்கான ஒளிவிலகல் எண் μ_r என்றும் இவை இரண்டிற்கும் சராசரி μ என்றும் கொண்டால்,

$$w = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$$ என்னும் வாய்பாட்டைக் கொண்டு நாம் பயன்படுத்திய **முப்பட்டகத்தின் பிரிதிறனைக் கணக்கிடலாம்.**

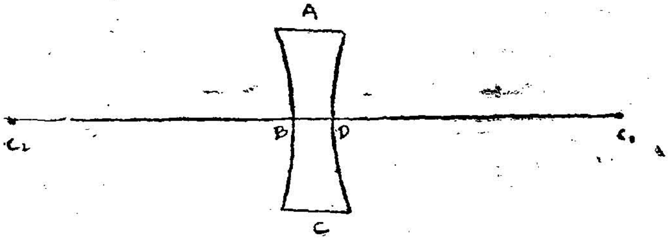
வில்லைகள்
(Lenses)

இரு வளைவு தளங்களுக்கு இடைப்பட்ட ஒளிபுகும் ஊடகப் பகுதி **வில்லை (lens)** என்று அழைக்கப்படுகிறது. சில சமயங்களில் ஒன்று சமதளமாகவும், மற்றது வளைவு தளமாகவும் இருப்பதும் உண்டு. பொதுவாக வில்லைகள், **குவி வில்லைகள், குழி வில்லைகள்** (convex and concave lenses) என்று பிரிக்கப்படுகின்றன. ஓரங்களில் மெல்லியதாகவும் நடுவில் தடிப்பாகவும் உள்ள வில்லை குவி வில்லை ஆகும். ஓரங்களில் தடிப்பாகவும் நடுவில் மெலிந்தும் உள்ள வில்லை குழி வில்லை ஆகும். ஊடகத்தை உள்ளடக்கிய

வளைவு தளங்களின் மையங்கள் C_1, C_2 என்று குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 9



படம் 10

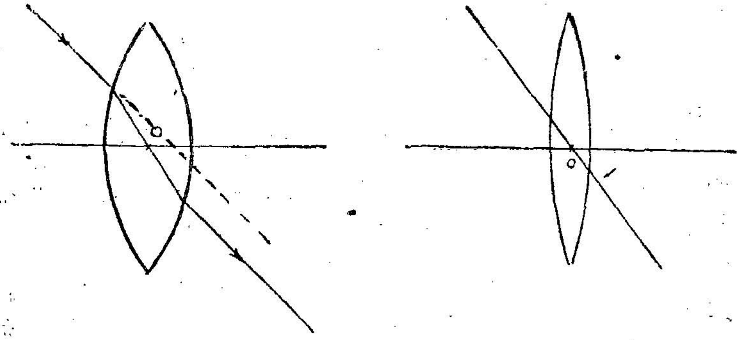
முதன்மை அச்சு (Principal axis)

ஊடகத்தை உள்ளடக்கும் வளைவு தளங்களின் மையங்கள் (C_1, C_2) வழியாகச் செல்லும் நேர்க்கோடு வில்லையின் முதன்மை அச்சு (principal axis) எனப்படும்.

ஒளி மையம் (Optic centre)

ஊடகத்தை உள்ளடக்கும் வளைவு தளங்கள் ஒன்றின்மீது பட்டு விலக்கமுற்று மற்ற தளத்தின் வழியாகப் படு கதிருக்கு இணையான திசையில் வெளியேறும் ஒளிக்கதிர், வில்லைக்கு உள்ளே முதன்மை அச்சை வெட்டிச்செல்லும் புள்ளி வில்லையின் **ஒளி மையம்** (optic centre) எனப்படும் (படம் 11 a).

வில்லை மிகவும் மெலிந்து இருப்பின் அதன் வடிவமையம் (geometric centre) ஒளிமையமாகக் கொள்ளப்படும். *(11 b)*



11 a   படம் *11* b

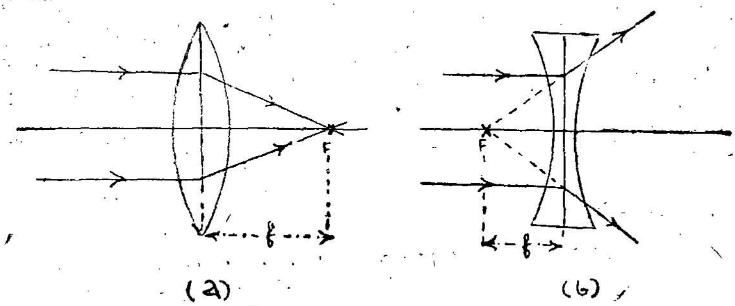
முதன்மைக் குவியம் (Principal focus)

(i) முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகவும், அண்மையாகவும், செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் குவி வில்லையின் ஒரு பக்கத்தில் பட்டு அதற்கு அடுத்த பக்கத்தில் முதன்மை அச்சின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் குவியும் அப் புள்ளி குவி வில்லையின் முதன்மைக் குவியம் எனப்படும்.

(ii) முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகவும், அண்மையாகவும் செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் குழி வில்லையின் ஒரு பக்கத்தில் பட்டு விலக்கமுற்று வில்லையின் அதே பக்கத்தில் முதன்மை அச்சின் மேலுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து வெளிவருவதாகத் தோன்றும். அப்புள்ளி குழி வில்லையின் முதன்மைக் குவியம் எனப்படும்.

குவிய தூரம் (Focal length)

ஒரு வில்லையின் ஒளிமையத்திற்கும் முதன்மைக் குவியத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் குவியதூரம் எனப்படும்.



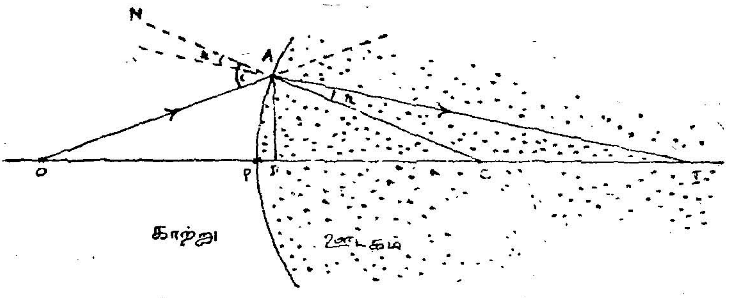
படம் *12* a   படம் *12* b

படம் 12 (a) மற்றும் (b) ஆகியவற்றில் OF என்பது குவிய தூரமாகும். இது f என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

வளைவு தளத்தில் ஒளி விலக்கமுறல்
(Refraction at a curved Surface)

வளைவு தளங்களின் ஆரத்திற்கான குறி மரபுபற்றி இங்கு நாம் அறிந்துகொள்ளவேண்டும். தன்மேல் விழும் ஒளிக்கதிரை குவிக்க முயலும் தளத்தின் ஆரம் நேர்க் குறியும் (+), விரிக்க முயலும் தளத்தின் ஆரம் எதிர்க் குறியும் (—) பெறுகின்றன.

படம் 13, 14 ஆகியவற்றில் APB என்னும் வளைவு தளம் μ என்னும் ஒளி விலகல் எண் கொண்ட ஓர் ஊடகத்தைக் காற்றிலிருந்து பிரிக்கும் தளமென்று கொள்வோம். C என்பது அத்தளத்தின் வளைவு மையம் என்றும், O என்பது முதன்மை அச்சின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளிப் பொருள் என்றும் கொள்வோம். O விலிருந்து கிளம்பிச் செல்லும் OA என்னும் ஒளிக்கதிர் படம்



படம் 13

13–ல் குவி தளத்தில் A என்ற இடத்தில் பட்டு விலக்கமுற்றுக் குத்துக் கோட்டை நோக்கி வளைகிறது. AD என்பது A-விருந்து முதன்மை அச்சுக்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடாகும். CA என்பது வளைவு தளத்தின் ஆரமாகையால் அது பிரிக்கும் தளத்திற்கு A-ல் வரையப்படும் குத்துக் கோடாக அமையும். எனவே, $\angle NAO = i$ மற்றும் $\angle IAC = r$ ஆகும்.

$\triangle$ ACO-ல்

$$\text{வெளிக்கோணம் } \angle NAO = \angle O + \angle ACO$$

$$\angle i = \angle O + \angle ACO$$

∴ Δ ACI–ல்

வெளிக்கோணம் $\angle ACO = \angle r + \angle AIC$

$$\therefore \quad \angle r = \angle ACO - \angle AIC$$

$$\mu = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \frac{i}{r} = \frac{\angle O + \angle ACO}{\angle ACO - \angle AIC}$$

$$= \frac{\frac{AD}{OD} + \frac{AD}{OC}}{\frac{AD}{OC} - \frac{AD}{OI}}$$

$$\mu = \frac{\frac{1}{u} + \frac{1}{R}}{\frac{1}{R} - \frac{1}{v}}$$

குறுக்கே பெருக்கி மாற்றி அமைக்க,

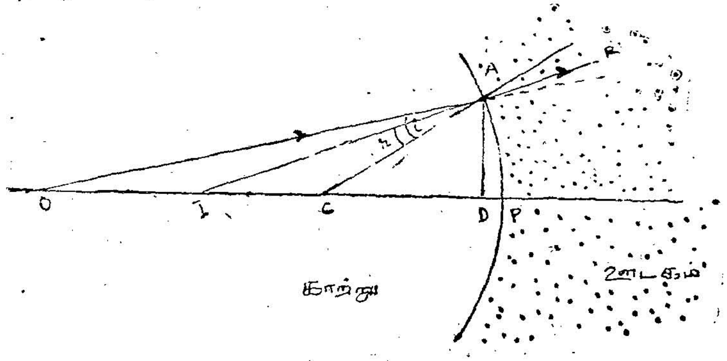
$$\frac{\mu}{R} - \frac{\mu}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{R}$$

$$\frac{\mu}{R} - \frac{1}{R} = \frac{\mu}{v} + \frac{1}{u}$$

$$\frac{(\mu - 1)}{R} = \frac{\mu}{v} + \frac{1}{u}$$

குழிதளத்தில் ஒளி விலக்கமுறல்

படம் 14-ல் O என்ற புள்ளிப் பொருளிலிருந்து கிளம்பும் OA என்ற ஒளிக் கதிர் குழிதளத்தில் A என்ற இடத்தில் படுகிறது;



படம் 14

காற்றிலிருந்து ஊடகத்திற்குள் செல்லும் ஒளி, குத்துக் கோட்டை நோக்கித் திரும்புவதைப் படத்தில் காணலாம்.

இவ்வாறு விலக்கமுற்ற ஒளிக்கதிர் முதன்மை அச்சை நோக்கித் திரும்பாததால் உண்மை பிம்பம் ஏற்படாது. விலக்கமுற்ற கதிரைப் பின்னோக்கி நீட்ட அது முதன்மை அச்சை *I*-ல் சந்திக்க அங்கு மாய பிம்பம் உண்டாகிறது.

$\triangle$ *AOC*-ல்,

வெளிக் கோணம் $\angle ACP = \angle OAC + \angle AOC$

$$= \angle i + \angle AOC$$

$$\therefore \quad \angle i = \angle ACP - \angle AOC$$

$\triangle$ *AIC*-ல், $\angle ACP = \angle IAC + \angle AIC$

$$= \angle r + \angle AIC$$

$$\therefore \quad \angle r = \angle ACP - \angle AIC$$

$$\mu = \frac{\operatorname{Sin} i}{\operatorname{Sin} r} = \frac{i}{r} = \frac{\angle ACP - \angle AOC}{\angle ACP - \angle AIC}$$

$$\mu = \frac{\frac{AP}{CP} - \frac{AP}{OP}}{\frac{AP}{CP} - \frac{AP}{IP}}$$

$$\mu = \frac{\frac{1}{CP} - \frac{1}{OP}}{\frac{1}{CP} - \frac{1}{IP}}$$

$$\mu = \frac{\frac{1}{R} - \frac{1}{u}}{\frac{1}{R} - \frac{1}{v}}$$

குறுக்கே பெருக்கி மாற்றி அமைக்க.

$$\frac{\mu}{R} - \frac{\mu}{v} = \frac{1}{R} - \frac{1}{u}$$

$$\frac{\mu}{R} - \frac{1}{R} = \frac{\mu}{v} - \frac{1}{u}.$$

இதில் பிம்பம் மாய பிம்பம் ஆகையால் v-யும் ஒளிக்கற்றை விலக்கமுற்று விரிவதால் R-ம் (—) எதிர்க் குறி பெறுகின்றன.

எனவே,

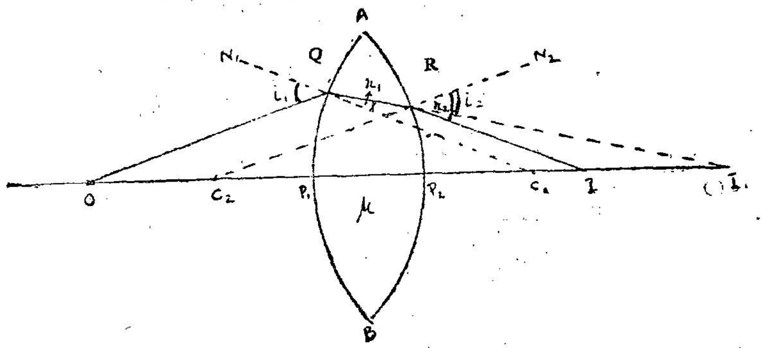
$$\frac{\mu-1}{-R}=\frac{\mu}{-v}-\frac{1}{u}$$ ஆகும்.

அஃதாவது,

$$\frac{\mu-1}{R}=\frac{\mu}{v}+\frac{1}{u}$$ என்ற பொது விதியைப் பெறலாம்.

குவி வில்லையில் நடைபெறும் ஒளிவிலகல்

வில்லையின் வழி நடைபெறும் ஒளிவிலகலை AP_1B மற்றும் AP_2B என்னுமிரு வளைவு தளங்களில் நடைபெறும் ஒளிவிலகலாகக் கொள்ளலாம்.



படம் 15

$OQRI$ என்பது ஒளியின் பாதையைக் குறிக்கிறது.

O என்ற புள்ளிப் பொருளிலிருந்து கிளம்பும் ஒளிக்கதிர் OQ என்ற பாதையில் சென்று AP_1B என்ற வளைவு தளத்தில் Q என்ற இடத்தில் பட்டு C_1Q என்ற குத்துக்கோட்டை நோக்கித் திரும்புகிறது. QC_1 என்பது AP_1B-ன் வளைவு ஆரமாகையால் அதுவே படுபுள்ளியில் வரையப்படும் குத்துக்கோடாகும். எனவே, $\angle N_1QO=i$ $\angle I_1QC_1=r$ ஆகும். AP_1B ஆல் விலக்கமுற்ற ஒளிக் கதிர் AP_2B என்ற வளைவு தளம் இல்லையென்றால் I_1 என்னும் உண்மைப் பிம்பத்தைத் தந்திருக்கும். ஆனால் அங்கு AP_1B என்ற வளைவு தளம் இருப்பதால் மறுமுறையும் அங்கு விலக்கமுற்று

RI என்ற பாதை வழியே சென்று I என்னும் உண்மைப் பிம்பத்தைத் தருகிறது. இவ் விலகலுக்கு C_2RN_2 என்பது படுபுள்ளியில் வரையப்படும் குத்துக்கோடாகும். எனவே, $\angle QRC_2 = \angle N_2RI_1 = i$ ஆகும். மற்றும், $\angle N_2RI = r$ ஆகும்.

AP_1B-ல் நிகழும் விலகலுக்கு $\triangle QOI_1$-ல்

$$\angle N_1QO = \angle QOP_1 + \angle QC_1P_1$$

$$i_1 = \angle QOP_1 + \angle QC_1P_1$$

$\triangle I_1QC_1$-ல்

$$\angle QC_1P_1 = \angle I_1QC_1 + \angle QI_1C_1$$

$$\angle QC_1P_1 = \angle r_1 + \angle QI_1C_1$$

$$\therefore \quad r_1 = \angle QC_1P_1 - \angle QI_1C_1$$

$$\mu = \frac{\operatorname{Sin} i_1}{\operatorname{Sin} r_1} = \frac{i_1}{r_1} = \frac{\angle QOP_1 + \angle QC_1P_1}{\angle QC_1P_1 - \angle QI_1C_1}$$

$$= \frac{\dfrac{QP_1}{OP_1} + \dfrac{QP_1}{C_1P_1}}{\dfrac{QP_1}{C_1P_1} - \dfrac{QP_1}{I_1P_1}}$$

$$= \frac{\dfrac{1}{OP_1} + \dfrac{1}{C_1P_1}}{\dfrac{1}{C_1P_1} - \dfrac{1}{I_1P_1}}$$

$$\mu = \frac{\dfrac{1}{u} + \dfrac{1}{R_1}}{\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{v_1}}$$

$$\frac{\mu}{R_1} - \frac{\mu}{v_1} = \frac{1}{u} + \frac{1}{R_1}$$

$$\frac{\mu - 1}{R_1} = \frac{\mu}{v_1} + \frac{1}{u} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1)$$

AP_2B என்ற தளத்தில் நிகழும் விலகலுக்கு

$\triangle RC_2I$-ல்

$$\angle IRN_2 = \angle RC_2I + \angle RIC_2$$

$$\angle r_2 = \angle RC_2I + \angle RIC_2$$

$\triangle RC_2I_1$-ல்

$$\angle N_2RI_1 = \angle RC_2I_1 + \angle RI_1C_2$$

$$\angle i_2 = \angle RC_2I_1 + \angle RI_1C_2$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\text{Sin } i_2}{\text{Sin } r_2}$$ (ஒளி ஊடகத்திலிருந்து காற்றுக்குச் செல்வதால்)

$$= \frac{i_2}{r_2} = \frac{\hat{RC_2I_1} + \hat{RI_1C_2}}{\hat{RC_2I} + \hat{RIC_2}}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\frac{RP_2}{C_2P_2} + \frac{RP_2}{I_1P_2}}{\frac{RP_2}{C_2P_2} + \frac{RP_2}{IP_2}}$$

$$= \frac{\frac{1}{C_2P_2} + \frac{1}{I_1P_2}}{\frac{1}{C_2P_2} + \frac{1}{IP_2}}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{v_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{v}} \quad \because \quad I_1P_2 \simeq I_1P_1$$

$$\frac{1}{R_2} + \frac{1}{v} = \frac{\mu}{R_2} + \frac{\mu}{v_1}$$

$$\frac{\mu - 1}{R_2} = \frac{1}{v} - \frac{\mu}{v_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றைக் கூட்ட

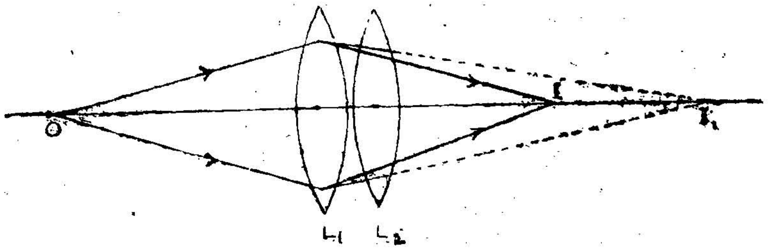
$$(\mu - 1)\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right] = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

ஆகவே,

$$(\mu - 1)\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right] = \frac{1}{f}$$

ஒன்றை ஒன்று தொடுமாறு அமைந்துள்ள இரு வில்லைகள் [தொடு வில்லைகள்]

Lenses in contact



படம் 15A

f_1 மற்றும் f_2 என்ற குவிய தூரங்களைக் கொண்ட இரு வில்லைகள் ஓரச்சு நிலையில் ஒன்றை ஒன்று தொட்டவாறு இருப்பதாகக் கொள்வோம். இக் கூட்டமைப்பில் நடைபெறும் ஒளிவிலகல் இரு நிலைகளில் நடைபெறுவதாகக் கொள்ளலாம். (1) O என்ற பொருளிலிருந்து f_1 என்ற குவிய தூரமுடைய முதல் வில்லையின் வழியாக விலகலடைந்து v_1 என்ற தூரத்தில் I_1 என்ற பிம்பத்தைத் தரும் ஒளிவிலகல் (2) I_1 ஐ உருவாக்கும் ஒளிக் கதிர்களை படு கதிர்களாகக் கொண்டு (அதாவது I_1ஐ பொருளாகக் கொண்டு) f_2 என்ற குவிய தூரமுடைய இரண்டாவது வில்லையின் வழியே விலகலடைந்து I என்ற இறுதி பிம்பத்தை v என்ற தூரத்தில் தருகின்ற இரண்டாவது விலகல்,

முதல் வில்லையில் நடைபெறும் விலகலை

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

இரண்டாவது வில்லையில் நடைபெறும் விலகலை

$$-\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_2}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இங்கு முதல் பிம்பம் இரண்டாவது விலகலுக்குப் பொருளாகப் பயன்படுவதால் அது மாயப் பொருள் எனக்கொண்டு அதன் தூரம் $-v_1$ எனக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது என அறிக.

மேற் கூறிய இரு சமன்பாடுகளையும் கூட்ட

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$ என்றாகும்.

மேற்கூறிய இரு வில்லைகளும் இணைந்து உண்டாகின்ற விளைவினை F என்ற குவிய தூரமுடைய ஒரு வில்லை உண்டாக்குவ்தாகக் கொண்டால்

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{F}$$ என்றாகுமல்லவா,

எனவே, $$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$ என்றாகிறது.

இங்கு F என்பது மேற்கூறிய இரு வில்லைகளின் கூட்டுக் குவிய தூரம் (Combined focal length) எனப்படும்.

வில்லையின் திறன்
(Power of a lens)

ஒரு வில்லைக்குரிய ஒருங்குவிக்கும் (குவிக்கும்) தன்மையைக் கொண்டு அதன் திறனை அளவிடுகிறோம். வில்லையின் குவிய தூரத்தை மீட்டரில் அளவிட்டு. பின் அம் மதிப்பின் தலைப்பு மாற்றுப் பின்னத்தை (reciprocal) வில்லையின் திறன் என்று கொள்கிறோம். எடுத்துக்காட்டாக 20 செ. மீ. குவிய தூரமுடைய வில்லை என்றால் அதன் குவிய தூரம் 0·2 மீட்டர் ஆகும். இதன் தலைப்பு மாற்ற பின்னம் $\frac{1}{0\cdot 2} = 5$ ஆகும். எனவே எடுத்துக் கொண்ட வில்லையின் திறன் 5 ஆகும். ஒரு மீட்டர் குவியதூரம் கொண்ட வில்லையின் திறன் ஒரு டையாப்டர் எனப்படுகிறது. எனவே, நாம் எடுத்துக் கொண்ட வில்லையின் திறன் 5 டையாப்டர் ஆகும். மேலும் குவிவில்லைகளின் திறன் + குறி என்றும், குழி வில்லையின் திறன் — குறி என்றும் கொள்ளப்படுகிறது.

குழி வில்லை

(i) இணைப்பு முறை

குவிய தூரம் காணவேண்டிய குழி வில்லைக்குப் பொருத்தமான குவி வில்லை ஒன்றைத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். நாம் தேர்ந்தெடுக்கும் குவி வில்லையுடன், நம் குழி வில்லையை இணைக்க உண்டாகும் இணைப்பு வில்லை குவிக்கும் தன்மை உடையதாக

இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு பெற்ற இணைப்பின் குவியதூரம் F என்றும் குவி வில்லையின் குவியதூரம் f_1 என்றும் குழி வில்லையின் குவிய தூரம் f_2 என்றும் கொள்வோம்.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \text{ என்று கண்டோம்.}$$

குழி வில்லையின் குவியதூரம் — குறி ஆகையால்

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \text{ ஆகும்.}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{F}$$

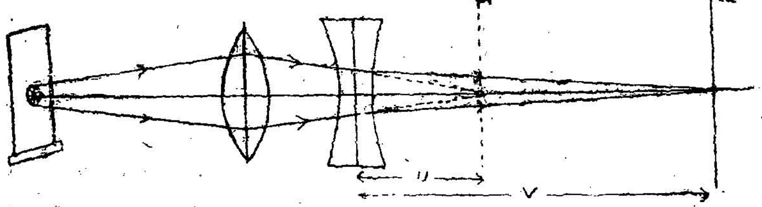
$$= \frac{F - f_1}{Ff_1}$$

$$f_2 = \frac{Ff_1}{F - f_1} \text{ ஆகும்.}$$

(ii) துணைவில்லை முறை (Auxiliary lens method)

ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பி வலைக்கு முன்னல் தாங்கி ஒன்றில் குவிவில்லை ஒன்றைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி, கம்பி வலையின் தெளிவான பிம்பத்தைத் திரை ஒன்றில் பிடிக்கவேண்டும். திரையின் இடத்தை S_1 என்று குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். குவிய தூரம் காண வேண்டிய குழி வில்லையைத் திரைக்கும் குவி வில்லைக்கும் இடையில் வைத்தால் திரையில் தெரிந்த பிம்பம் மறைந்து விடும். தெளிவான பிம்பத்தைப் பெறத் திரையை மேலும் பின்னேக்கி நகர்த்தி S_2 என்ற இடத்தில் வைக்கும்போது மறுபடியும் தெளிவான பிம்பம் கிடைக்கும்.

இங்கு S_1 என்ற இடத்தில் விழுந்த பிம்பம், குழி வில்லைக்குப் பொருளாக செயற்பட்டிருக்கிறது. இதனல் S_2 என்ற இடத்தில்



படம் 16

பிம்பம் கிடைக்கிறது. அஃதாவது S_2-ல் விழுந்த மெய்ப் பிம்பத்திற்கு, S_1-ல் விழுந்த பிம்பம் மாயப்பொருளாகச் செயற்பட்டிருக்கிறது. குழி வில்லைக்கும் S_1-க்கும் உள்ள தூரம் u என்றும் குழி வில்லைக்கும் S_2-க்கும் உள்ள தூரம் v என்றும் கொள்வோம்.

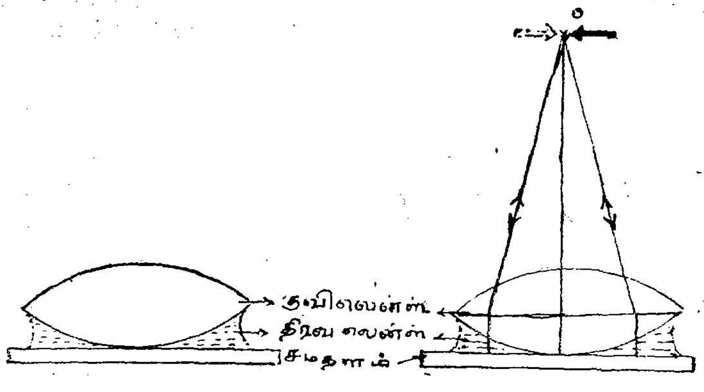
$$-\frac{1}{f} = -\frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} - \frac{1}{v}$$

$$f = \frac{uv}{v-u}$$

திரவ வில்லைகள்
(Liquid Lenses)

சமதளம் ஒன்றில் ஒரு சொட்டுத் திரவத்தை விட்டு அதன் மீது ஒரு குவி வில்லையை வைப்போம். திரவம் குவி வில்லையின் கீழ்ப் பரப்பிற்கும், சமதளத்திற்கும் இடையில் படத்திற்காட்டியுள்ளவாறு சமதளக் குழி வில்லையாக மாறுகிறது.



படம் 17

குவி வில்லையின் கீழ்ப்பரப்பின் வளைவு ஆரம் R என்றும் திரவ வில்லையின் குவிய தூரம் f என்றும், திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ என்றும் கொள்வோம். சமதளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் ∞ (முடிவற்றது) ஆகும்.

எனவே,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$ என்னும்

சமன்பாடு,

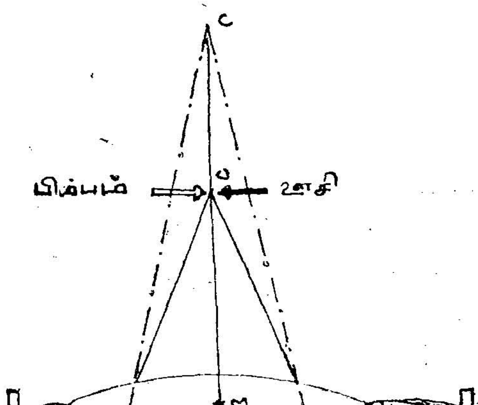
$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left[\frac{1}{R} + \frac{1}{\infty}\right]$$

$$= \frac{\mu - 1}{R}$$ என்றாகும்.

அல்லது, $\mu = \frac{R}{f} + 1$ ஆகும்.

குவிதளத்தின் ஆரம் காணல்-பாய்ஸ் முறை (Boy's Method)

f என்ற குவியதூரமுடைய குவி வில்லை பாதரசத் தொட்டி ஒன்றில் மிதக்கவிடப்படுகிறது. நாம் ஆரம் காணவேண்டிய பரப்பு பாதரசத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கவேண்டும்; வில்லைக்கு மேலே, வெள்ளை வர்ணம் பூசப்பட்ட, பொலிவுள்ள ஊசி ஒன்று கிடைமட்டத்தில் தாங்கி ஒன்றில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஊசிக்குமேல் கண்ணை வைத்துப் பார்த்தால் ஊசியின்



படம் 18

பிம்பமும், ஊசியும் தெரியும். கண்ணை இங்குமங்கும் பக்கவாட்டில் அசைத்தால் ஊசியும் அதன் பிம்பமும் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகிச் செல்வதைக் காண்போம். இந்நிலையில் ஊசியும் அதன் பிம்பமும் ஒரே இடத்தில் இல்லை என்று பொருள். ஊசியை மேலே ஏற்றி அல்லது கீழே இறக்கி ஊசிக்கும் அதன் பிம்பத்திற்கும் இடையே இடமாறு தோற்றம் இல்லாது செய்ய வேண்டும்; இப்போது பொருளும் (ஊசியும்) அதன் பிம்பமும் ஒரே இடத்தில் இருக்கின்றன. ஆகவே, ஒளிக்கதிர்கள் கீழ்ப்பரப்பின் மீது, அதன் வளைவு மையத்திலிருந்து வருவன போன்று செங்குத்தாக விழுகின்றன. எனவே, ஊசியிருக்குமிடத்திலுள்ள பொருளுக்குரிய மாய பிம்பம் கீழ்ப்பரப்பின் வளைவு மையத்தில் விழும்.

$$MO = u$$

$$MC = R = v$$

C-ல் விழும் பிம்பம் மாய பிம்பம் ஆகையால் v— குறி பெறும்.

எனவே, $$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{R} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{u} - \frac{1}{f}$$

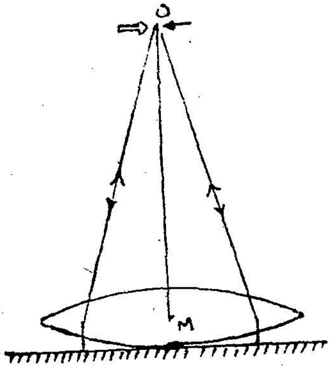
$$R = \frac{uf}{f-u}$$

திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் காணல்-திரவவில்லை முறை

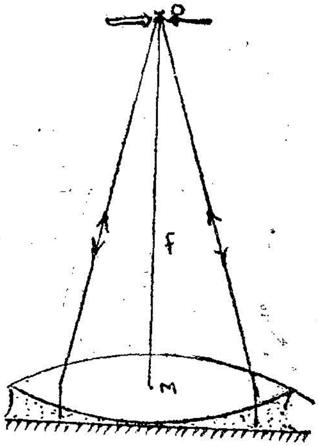
குவிவில்லை ஒன்றைச் சமதள ஆடியின்மீது வைத்து அதற்கு மேலே, வெள்ளை பூசப்பட்ட பொலிவுள்ள ஊசி ஒன்றைக் கிடை மட்டத்தில் தாங்கி ஒன்றில் பொருத்தவேண்டும். ஊசியை மேலே ஏற்றி அல்லது கீழே இறக்கி ஊசிக்கும் அதன் பிம்பத்திற்கும் இடையே இடமாறு தோற்றமில்லாதவாறு செய்யவேண்டும்; இப்போது பொருளும் அதன் பிம்பமும் ஒரே இடத்திலிருக்கும். எனவே, வில்லைக்கும் ஊசிக்குமிடையே உள்ள தூரம் குவி வில்லையின் குவியதூரமாகும். $MO = f_1$ ஆகும்.

ஒளிவிலகல் எண் காணவேண்டிய திரவத்தில் ஒரு சொட்டு சமதள ஆடியின் மேல் விட்டு, அதன்மீது குவி வில்லையை

வைக்க, வில்லைக்கும் சமதள ஆடிக்கும் இடையே திரவவில்லை உண்டாகும். இப்போது சமதளக் குழி திரவ வில்லையும் இருபுறக் கண்ணாடி குவிவில்லையும் சேர்ந்த இணைப்பு கிடைக்கிறது. இவ்



படம் 19 a



படம் 19 b

விணைப்பின் குவிய தூரத்தையும் மேற்கூறியவாறு இடமாறு தோற்றமுறையில் காணலாம். இணைப்பின் குவிய தூரம் F என்றும் திரவவில்லையின் குவிய தூரம் f_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$$ ஆகும். இதிலிருந்து f_2-ஐ அறியலாம்.

$$\mu = \frac{R}{f_2} + 1$$ என்பதைக் கொண்டு ஒளிவிலகல் எண் μ-ஐக் கணக்கிடலாம். இங்கு R என்பது திரவத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் வளைவு தளத்தின் ஆரத்தைக் குறிக்கிறது. இதன் மதிப்பினை ''பாய்ஸ்'' முறையில் கணக்கிடலாம்.

4. ஒளியியற் கருவிகள்
(Optical Instruments)

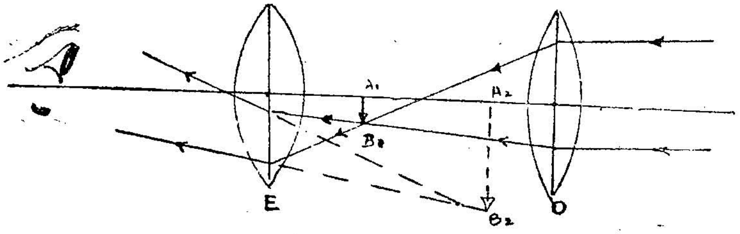
தொலை நோக்கி (Telescope)

மிகத் தொலைவில் உள்ள கதிரவன், விண்மீன்கள் போன்ற பொருள்கள் அளவில் நாம் வாழும் பூமியைவிடப் பெரியவை என்றாலும் அவை பூமியிலிருந்து வெகு தூரத்தில் இருப்பதால், அவை நம் கண்ணுக்குச் சிறியவையாகத் தோன்றுகின்றன. தொலைநோக்கி என்ற கருவி வழியே அவற்றைப் பார்க்கும்போது அவை நம்முடைய வெற்றுக் கண்களுக்குத் தோன்றுவதைவிடப் பெரியனவாகத் தோற்றமளிக்கின்றன.

இக் கருவியில் இரு குவி வில்லைகள் இருக்கின்றன. ஒன்று பெரிய விட்டமும் அதிகக் குவிய தூரமும் உடையது, இது பொருளருகு வில்லையாகப் பயன்படுகிறது. மற்றது குறுகிய விட்டமும் சிறிய குவிய தூரமும் கொண்ட கண்ணருகு வில்லை ஆகும். இவ்விரு வில்லைகளும், ஒன்றுக்குள் ஒன்றுய்ச் செருகக் கூடிய இரு ஓரச்சுக் குழாய்களின் வெளி முனைகளில் பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. இவ்விரு வில்லைகளுக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தைக் கூட்டவோ குறைக்கவோ செய்வதற்குக் குமிழ் ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

படத்தில் காட்டியவாறு வெகு தொலைவில் உள்ள பொருளிலிருந்து வருகின்ற இணைக்கதிர்கள் பொருளருகு வில்லையில் பட்டு விலக்க முற்றுப் பொருளின் சிறிய, தலைகீழான மெய்ப் பிம்பத்தை A_1B_1 பொருளருகு வில்லையின் முதன்மைக் குவியத்தில் தோற்றுவிக்கின்றன. கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்திற்குள் (F_e) A_1B_1 என்னும் மெய்ப் பிம்பம் விழும்படி கண்ணருகு வில்லை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஆகவே கண்ணருகு வில்லை தனி நுண்பொருள் நோக்கியைப் போன்று செயற்பட்டு A_1B_1 என்னும் பிம்பத்தின் மாயபிம்பத்தை (A_2B_2) தருகிறது.

விண் தொலைநோக்கியில் A_1B_1 என்னும் உண்மைப் பிம்பம் பொருளருகு வில்லையின் முதன்மைக் குவியத்தில் விழும். இப் பிம்பம் கண்ணருகு வில்லையில் முதன்மைக் குவியத்தில் அமையு மாறு வில்லைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் அமைக்கப்பட்டால்

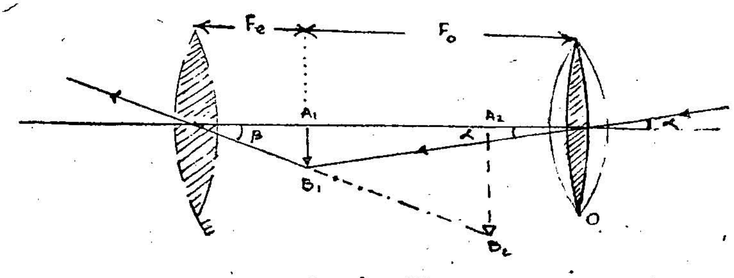


படம் 20

A_2B_2 என்னும் இறுதிப் பிம்பம் முடிவிலாத் தூரத்தில் விழும், ஆகவே விண் தொலைநோக்கியிலுள்ள பொருளருகு வில்லை, கண்ணருகு வில்லை ஆகியவற்றின் குவிய தூரங்கள் முறையே f_0 மற்றும் f_e என்றால் தொலைநோக்கியின் நீளம் $f_0 + f_e$ ஆகும்.

தொலை நோக்கியின் உருப்பெருக்கு திறன்
(Magnifying Power of a telescope)

ஒரு தொலைநோக்கியின் வழியாகப் பார்க்கும்போது தெரியும் பிம்பத்தின் அளவிற்கும்: அதே பொருளை வெற்றுக் கண்களால் பார்க்கும்போது காணப்படும் அளவிற்கும் உள்ள விகிதமே அத் தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கு திறன் எனப்படும். இது பிம்பம் நம் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்திற்கும், பொருள் நம் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்திற்கும் உள்ள விகிதத்திற்குச் சமமாகும்.



படம் 21

பொருள், பொருளருகு வில்லையில் தாங்கும் கோணம் α என்றும், பிம்பம் (A_2B_2) கண்ணருகு வில்லையில் தாங்கும் கோணம் β என்றும் கொள்வோம். பொருளுக்கும் பொருளருகு வில்லைக்கும் உள்ள பெருந்தூரத்தை நோக்கும்போது பொருளருகு வில்லைக்கும் கண்ணருகு வில்லைக்குமிடையே உள்ள தூரத்தை விட்டு விடலாம். எனவே, பொருள் கண்ணருகு வில்லையில் α என்னும் கோணத்தைத் தாங்குவதாகக் கொள்ளலாம். கண்ணருகு வில்லைக்கு அருகிலேயே நம் கண் இருப்பதால் பொருளும், அதன் பிம்பமும் நம் கண்ணில் முறையே α மற்றும் β என்னும் கோணங்களைத் தாங்குவதாகக் கொள்ளலாம்.

$$\left.\begin{array}{l}\text{தொலை நோக்கியின்}\\ \text{உருப் பெருக்கு திறன்}\end{array}\right\} = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$= \frac{A_1 B_1}{f_e} \div \frac{A_1 B_1}{f_0}$$

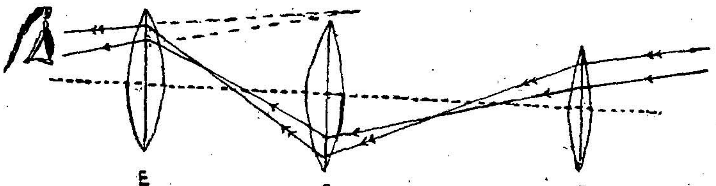
$$= \frac{f_0}{f_e}$$

செய்முறையில் தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கு திறன் அறிதல்

இதற்குப் பெரிய பிரிவுகள் குறிக்கப்பட்ட கம்பம் ஒன்றை ஏறக் குறைய 10 மீட்டர் தூரத்தில் நிறுத்தி வைக்கவேண்டும். பெரிய குவிய தூரமுடைய பொருளருகு வில்லையைத் தாங்கி ஒன்றில் பொருத்திக் கம்பத்தைப் பார்த்தவாறு வைத்து, கம்பத்தின் சிறிய தெளிவான உண்மைப் பிம்பத்தைத் திரை ஒன்றில் பெறவேண்டும். திரையின் இடத்தை S என்று குறித்துக் கொண்டு பின் திரையை எடுத்துவிடவேண்டும். இப்போது கண்ணருகு வில்லையை மற்றொரு தாங்கியில் பொருத்தி, பொருளருகு வில்லையுடன் ஓரச்சில் இருக்கு மாறு வைக்கவேண்டும். S கண்ணருகு வில்லையின் முதன்மைக் குவியத்திற்குள் இருக்கும்படி செய்து ஒரு கண்ணால் வில்லைகளின் வழியாகத் தெரியும் பிம்பத்தையும் மறு கண்ணால் கம்பத்தை நேரடியாகவும் பார்க்கவேண்டும். கம்பத்தை முன்னோ பின்னோ சிறிது நகர்த்திக் கம்பத்திற்கும் அதன் பிம்பத்திற்குமிடையே இடமாறு தோற்றப் பிழை இல்லாதபடி செய்யவேண்டும். பிம்பத்தின் x பிரிவுகள் பொருளின் y பிரிவுகளுடன் ஒன்றுமானால் தொலை நோக்கியின் உருப்பெருக்கு திறன் $\frac{y}{x}$ ஆகும்.

புவியியல் தொலை நோக்கி (Terrestrial Telescope)

விண் தொலை நோக்கியில் தெரியும் இறுதிப் பிம்பம் பொருளின் நிலையுடன் நோக்கத் தலைகீழாக இருக்கும். விண்ணகப் பொருள்கள் எல்லாம் உருண்டை வடிவமுடையவையாக இருப்பதால் பிம்பம் தலை கீழாகத் தெரிந்தாலும் விகாரமாக இருக்காது. ஆனால் விண் தொலை நோக்கியைக் கொண்டு ஓடும் குதிரையைப் பார்ப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். ஓடும் குதிரையின் தோற்றம் தலைகீழாக விகாரமாகத் தோன்றுமல்லவா? எனவே, A_1B_1 என்ற தலைகீழான

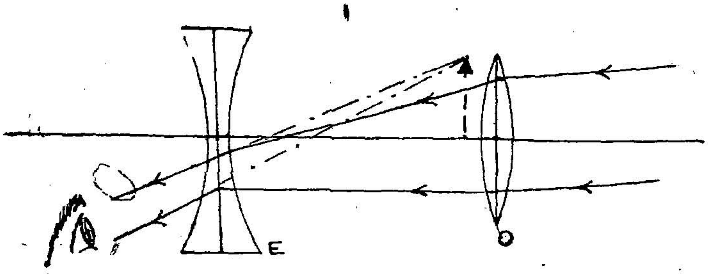


படம் 22

உண்மைப் பிம்பத்தை நேராக மாற்றுவதற்கு நேராக்குவில்லை (erecting lens) என்ற ஒன்று பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்கும் இடையில் வைக்கப்படுகிறது. அது A_1B_1 என்ற பிம்பத்தை அதே அளவுடைய நேரான உண்மைப் பிம்பமாக மாற்றுவதைப் படத்தில் (22) பார்க்கலாம். இப்பிம்பம் கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்திற்குள் விழ இதன் நேரான மாய பிம்பம் நம் கண்களுக்குத் தெரிகிறது.

கலிலியோ தொலைநோக்கி (Galilean Telescope)

புவியியல் தொலை நோக்கியின் மிக அதிகமான, அசௌகரியமான நீளம் இக்கருவியில் வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டு விடுகிறது. இதில் பயன்படுத்தப்படும் பொருளருகு வில்லை குவி வில்லையாக

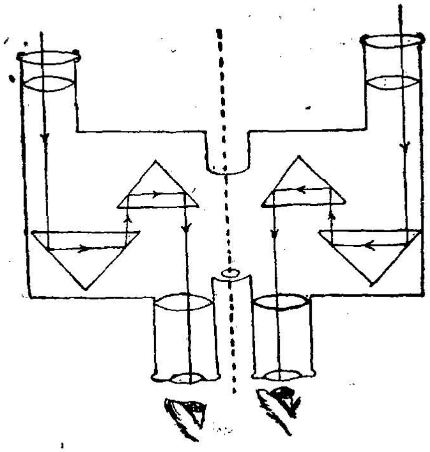


படம் 23

வும், கண்ணருகு வில்லை குழி வில்லையாகவும் இருக்கின்றன. பொருளருகு வில்லையால் விலக்கமுற்ற ஒளிக்கதிர்கள் கூடி A_1B_1 என்ற உண்மைப் பிம்பத்தை உண்டாக்குவதற்கு முன்பாகவே, குழி வில்லை குறுக்கிட்டு அக்கதிர்களை விரியச் செய்கிறது. இதனால் அக்கதிர்கள் A_2B_2 என்ற நேரான மாய பிம்பத்திலிருந்து வருவன போல் தோற்றமளிக்கின்றன.

பைனகுலர்ஸ் (Binoculars)

இது கண்ணுக்கு ஒன்றாக, ஒன்றின் பக்கத்தில் மற்றொன்றாக அமைந்த இரு விண் தொலைநோக்கிகளைக் கொண்ட அமைப்பு ஆகும். இவை ஒவ்வொன்றிலும் ஒரு பொருளருகு வில்லையும், கண்ணருகு வில்லையும் அவற்றிற்கு இடையில் முழு அகப் பிரதி



படம் 24

பலிப்பு செய்யும் இரு முப்பட்டகங்களும் இருக்கின்றன. முப்பட்டகங்கள் தொலைநோக்கியின் நீளத்தைக் குறைப்பதற்கு உதவுவதோடு பிம்பத்தை நேராக்குவதற்கும் பயன்படுகின்றன.

படம் 24 பைனகுலரில் ஒளி செல்லும் பாதையைக் காட்டுகிறது.

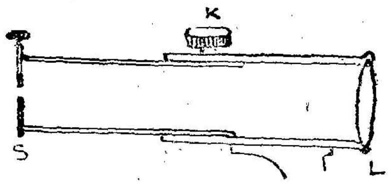
நிறமாலைமானி
(Spectrometer)

பல்வேறு நிறங்களின் அலை நீளங்களை அளவிடுவதற்கும், பொருள்களின் ஒளிவிலகல் எண்களைக் கணக்கிடுவதற்கும் ஏற்ற ஓர் அமைப்பு நிறமாலை அளவி அல்லது நிறமாலைமானி எனப்

படும். இதில் முக்கியமாக மூன்று பகுதிகள் உண்டு. அவை (1) இணையாக்கி (Collimator), (2) தொலை நோக்கி (3) முப்பட்டக மேடை (Prism table) எனப்படும்.

1. இணையாக்கி (Collimator)

ஒளித்தோற்றுவாயிலிருந்து வருகின்ற விரிகற்றையை முற்றிலும் இணையான கற்றையாக்கி முப்பட்டகத்தை நோக்கிச் செலுத்துவது இதன் வேலையாகும். எனவேதான் இது இணையாக்கி என்றழைக்கப்படுகிறது. இதில் ஒன்றுக்குள் ஒன்றாக நழுவிச் செல்லக் கூடிய இரு பித்தளைக் குழாய்களிருக்கின்றன. ஒன்றின் வெளி முனையில் ஒரு குவி வில்லையும். மற்றதன் வெளி முனையில் அகலத்தை மாற்றி அமைப்பதற்கேற்ற பிளவு (Slit) ஒன்றும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 25a)

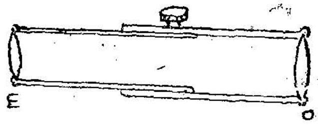


படம் 25 a

வில்லைக்கும் பிளவுக்குமிடையிலுள்ள தூரத்தை மாற்றியமைப்பதற்கு K என்ற குமிழ் ஒன்றைத் திருக வேண்டும்.

2. தொலைநோக்கி (Telescope)

இது விண் தொலை நோக்கி அமைப்பினைச் சேர்ந்தது. பிம்பம் தலைகீழாகத் தெரியும். இதிலும் ஒன்றுக்குள் ஒன்றாக நழுவிச் செல்லக்கூடிய இரு பித்தளைக் குழாய்களிருக்கின்றன. ஒரு குழாயின் வெளி முனையில் பொருளருகு வில்லை (Objective) மற்றொரு குழாயின் வெளி முனையில் கண்ணருகு வில்லை (eye piece) பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இறுதிப் பிம்பம் விழுகின்ற இடத்தில் குறுக்கிழைகள் (Cross wires) பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. கண்ணருகு வில்லைக்கும், பொருளருகு வில்லைக்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தை மாற்றி அமைப்பதற்கு உதவியாக ஒரு குமிழ் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



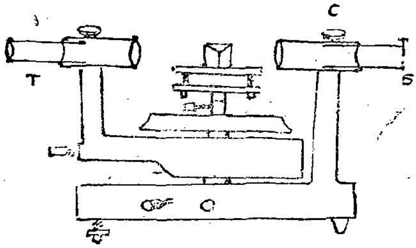
படம் 25 b

 அதைத் திருகி, வில்லைகளுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை மாற்றலாம். இத்தொலைநோக்கி, நிறமாலைமானியின் மையம் வழியே செல்லும் குத்து அச்சு ஒன்றில் சுழலுமாறு பொருத்

தப்பட்டிருக்கிறது. வேண்டிய இடத்தில் அசையாமல் நிறுத்தி வைப்பதற்கு ஒரு திருகும், சிறிது சிறிதாக நகர்த்துவதற்கு தொடு வியலான திருகு (Tangential screw) ஒன்றும் ஆக இரு திருகுகள் இதிலுண்டு. தொலை நோக்கியோடு சேர்ந்து சுழலுமாறு டிகிரிகளாகப் பகுக்கப்பட்ட வட்ட அளவுகோல் ஒன்று பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது.

3. முப்பட்டக மேடை (Prism Table)

இஃது ஒளிவிலகல் செய்யும் முப்பட்டகத்தை வைப்பதற்கான மேடையாகும். இதில் ஒரே அளவுடைய, இரு வட்டமான தட்டுகள், ஒன்றின்கீழ் ஒன்றாக அமைந்திருக்கின்றன. அவற்றை இணைத்திருக்கும் மூன்று திருகு அமைப்புகளைக் கொண்டு மேல் தட்டினைச் சரியான கிடைமட்ட நிலைக்குக் கொண்டுவரலாம். இதையும் தொலை நோக்கியைப் போன்றே கருவியின் மையக்குத்து அச்சு ஒன்றில் சுழற்றலாம். அதேபோன்று இதனை எந்த இடத்திலும் அசையாமல் செய்வதற்கு ஒரு திருகும், சிறிது சிறிதாக



படம் 25 C

நகர்த்துவதற்கு ஏற்றவாறு தொடு வியலான திருகு ஒன்றும் ஆக இரு திருகுகள் இருக்கின்றன. முப்பட்டக மேடையுடன் வட்ட வர்னியர் (Circular Vernier) ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது; தொலை நோக்கியுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் வட்ட அளவுகோல் வர்னியரைத் தொட்டுக்கொண்டு மையக்குத்து அச்சில் சுழலக்கூடியது. முப்பட்டக மேடையை வர்னியர் தட்டோடன்றி, தனியாக சுழற்றவோ அல்லது மேலோ கீழோ ஏற்றி இறக்கவோ முடியும். இதற்காக முப்பட்டக மேடைக்குச் சற்றுக் கீழே நீண்ட ஒரு திருகு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

செய்முறைக்கு முன் செய்ய வேண்டிய சில செயல்கள்

நிறமாலைமானியைக் கொண்டு செய்யும் சோதனைகளைத் தொடங்குவதற்கு முன்பு பின்வரும் செயல்களைச் செய்வது அவசியம்.

1. குறுக்கிழைகளைச் சீர் செய்தல்

தொலைநோக்கியை வெள்ளைச்சுவர் ஒன்றை நோக்கித் திருப்பி வைத்துப் பின்னர்க் கண்ணருகு வில்லை அமைப்பை உள்ளே தள்ளியோ அல்லது வெளியே இழுத்தோ குறுக்கிழைகள் தெளிவாகத் தெரியும்படி செய்ய வேண்டும்.

2. தொலைநோக்கி இணைக்கதிர்களை ஏற்பதற்கு ஏற்றவாறு சீர் செய்தல்

வெகு தொலைவிலிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்கள் இணைக்கதிர்களாகும் என அறிவோம். எனவே தொலை நோக்கி வழியாக வெகுதொலைவிலுள்ள மரம் அல்லது புதர் போன்ற பொருள்களைப் பார்த்து அவற்றின் தெளிவான பிம்பம் குறுக்கிழைகளின் மீது தெளிவாக விழுவதற்கு ஏற்பக் கண்ணருகு வில்லைக்கும், பொருளருகு வில்லைக்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தை மாற்றி அமைக்க வேண்டும். இதற்குத் தொலை நோக்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் குமிழைத் தக்கவாறு திருகவேண்டும். பொருளின் பிம்பமும் குறுக்கிழைகளும் ஒரே இடத்தில் இருப்பின் அவைகளுக்கிடையில் இடமாறு தோற்றப்பிழை (Parallax error) இராது.

3. இணைக்கதிர்களை அனுப்புவதற்கேற்ப இணையாக்கியைச் சீர் செய்தல்

இணையாக்கியின் பிளவினைச் சோடியம் விளக்கு போன்ற ஒரு நிறத் தோற்றுவாய் (monochromatic source) கொண்டு பொலிவூட்ட வேண்டும். தொலை நோக்கியையும், இணையாக்கியையும் ஒரே நேர்க்கோட்டிலமையுமாறு செய்து, தொலை நோக்கி வழியே ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவினைப் பார்க்கவேண்டும். இப்போது இணையாக்கியிலுள்ள குமிழைத் திருகிப் பிளவிற்கும், இணையாக்கி வில்லைக்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தை மாற்றியமைத்து, பிளவின் தெளிவான, இடமாறு தோற்றப் பிழையற்ற பிம்பம், குறுக்கிழையில் தெரியுமாறு செய்யவேண்டும். பிளவின் அகலத்தை மாற்றியமைத்துத் தேவையான அளவிற்குச் செய்துகொள்ள வேண்டும்.

4. முப்பட்டக மேடையை மட்டப் படுத்துதல்

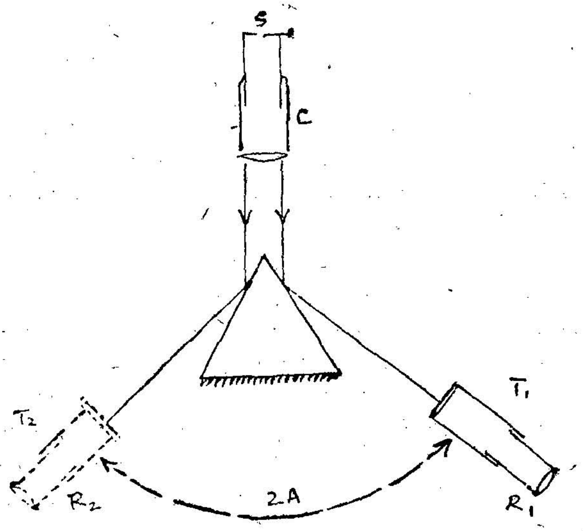
முப்பட்டக மேடையில் முப்பட்டகத்தை வைப்பதற்கான தாங்கி ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. முப்பட்டகத்தின் தேய்க்கப்பட்ட பக்கம் (அடிப்பக்கம்) தாங்கியைப் பார்த்தவாறும் ஒளிவிலக்கும் விளிம்பு மைய அச்சுக்கு அருகில் இருக்குமாறும்

முப்பட்டகத்தை வைக்க வேண்டும். பின்னர் முப்பட்டக மேடையைச் சுழற்றி ஒளிவிலக்கும் விளிம்பு இணையாக்கியை நோக்கிய வாறு செய்யவேண்டும். இப்போது இணையாக்கியிலிருந்து வந்து, முப்பட்டகத்தின் முகத்தில் பட்டு எதிரொளிக்கும் கதிரைத் தொலை நோக்கியின் வழியாகப் பார்க்கவேண்டும். பிம்பம் தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்தின் (field of View) மையத்தில் இல்லாவிட்டால், மேடையின் கீழுள்ள திருகுகளில் அப்பக்கத்திற்கு இணையாக இருக்கும் இரண்டினைத் தக்கவாறு திருகிப் பிம்பம் குறுக்கிழையின் மையத்தில் இருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். இதே போன்று முப்பட்டகத்தின் மற்ற முகத்தில் எதிரொளித்த பிம்பத்தையும் குறுக்கிழையின் மையத்தில் தோன்றுமாறு செய்யவேண்டும்.

திறமாலைமானியைக் கொண்டு முப்பட்டகத்தின் கோணம் மற்றும் சிறுமதிசைமாற்றக் கோணம் ஆகியவற்றை அளவிடல்

(i) முப்பட்டகக் கோணத்தை அளவிடல்

செய்முறைக்கு முன் செய்ய வேண்டிய முதற் செயல்கள் எல்லாவற்றையும் செய்த பின்னர் முப்பட்டகத்தின் ஒரு முகத்தால் எதிரொளிக்கப்பட்ட பிம்பத்தைத் தொலைநோக்கி வழியாகப் பார்க்கவேண்டும். பிம்பத்திற்கு வெகு அருகில் செங்குத்தாக



படம் 25 d

இருக்கும் குறுக்கிழை வந்தவுடன் தொலைநோக்கியை அசையாமல் நிலைநிறுத்திய பின்பு, தொடுவியல் திருகைக் கொண்டு சிறிது சிறிதாகத் தொலைநோக்கியை நகர்த்திப் பிம்பம் குறுக்கிழையுடன் ஒன்றுமாறு செய்யவேண்டும். பிளவின் அகலம் மாற்றக் கூடிய ஒன்று என்பதை அறிவோம். குறுக்கிழை பிளவின் பிம்பத்துடன் ஒன்றும்போது அதன் அசையாத விளிம்புடன் ஒன்றும்படி செய்வது நல்லது. கருவியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் முதற்கோல் மற்றும் வர்னியர் கோல் இவற்றைக் கொண்டு இந் நிலைக்குரிய தொலைநோக்கி அளவினைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். (R_1) இவ்வாறே தொலைநோக்கி மூலம், முப்பட்டகத்தின் மற்ற முகத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்ட பிம்பத்தையும் நோக்கி அந்நிலைக்குரிய அளவினை (R_2) குறிக்க வேண்டும். இவ்விரு அளவுகளுக்கும் உள்ள வித்தியாசம் $2A$ என்று அறிவோம். அதிலிருந்து Aயின் மதிப்பினைப் பெறலாம்.

(ii) சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தை அளவிடல்

முப்பட்டக மேடையைச் சுழற்றி முப்பட்டகத்தின் முகங்களில் ஒன்று இணையாக்கியைப்பார்க்குமாறு செய்யவேண்டும். பின்னர்த் தொலை நோக்கியைச் சுழற்றி முப்பட்டகத்தில் விலக்கமுற்றுத் தோன்றும் பிளவின் பிம்பத்தைக் காணவேண்டும். தொலை நோக்கி வழியாகப் பிம்பத்தைப் பார்த்துக்கொண்டிருக்கும்போதே முப்பட்டக மேடையை, பிம்பம் படுகதிரின் பாதையை நோக்கி நகர்ந்து செல்வதற்கு ஏற்ற பக்கமாகச் சுழற்ற வேண்டும். அஃதாவது நாம் மேடையைச் சுழற்றும்போது திசைமாற்றக் கோணம் குறைய வேண்டும். அவ்வாறு நாம் முப்பட்டக மேடையைச் சுழற்றிக்கொண்டிருக்கும்போது, ஒரு நிலையில், படுகதிரை நோக்கிச் சென்றுகொண்டிருந்த பிம்பம் எதிர்த்திசையில் திரும்பத் தொடங்கும். அஃதாவது குறைந்து கொண்டே சென்ற திசை மாற்றக் கோணம் மேலும் குறையாது அதிகரிக்கத் தொடங்கும். இந்த நிலையில் மேடைக்குக் கீழ் உள்ள நீண்ட திருகை நன்கு திருகி மேடை சிறிதும் அசையாது இருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். இந்த நிலைதான் சிறும திசைமாற்ற நிலை (minimum deviation position) எனப்படும். தொலை நோக்கியிலுள்ள செங்குத்துக் குறுக்கிழை பிம்பத்தின் நிலையான விளிம்புடன் ஒன்றும்படி செய்து பின், முதற்கோல் மற்றும் வர்னியர் கோல் அளவுகளைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். முப்பட்டகத்தை எடுத்து விட்டு, நேராகத் தெரியும் பிளவின் பிம்பத்தைக் குறுக்கிழையுடன் ஒன்றச் செய்து மறுபடியும் முதற்கோல், வர்னியர் கோல் அளவுகளைக் குறித்துக் கொண்டு இந் நிலைக்குரிய

அளவைக் கணக்கிட வேண்டும். சிறுமதிசை மாற்ற நிலை அளவுக்கும், நேர்நிலை அளவுக்கும் உள்ள வித்தியாசம் சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தை (D) தரும்.

A என்பது முப்பட்டகக் கோணம் என்றும், D என்பது சிறும திசைமாற்றக் கோணம் என்றும் கொண்டால்,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+D}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \text{ ஆகும்.}$$

திரவங்களின் ஒளிவிலகல் எண்

நிறமாலைமானியின் உதவியால் திரவங்களின் ஒளிவிலகல் எண் காண்பதற்கு உள்ளீடற்ற முப்பட்டகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒளிவிலகல் எண் காணவேண்டிய திரவம் உள்ளீடற்ற முப்பட்டகத்தினுள் நிரப்பப்படுகிறது. அவ்வாறு நிரப்பப்படும் போது உட்பகுதியில் காற்றுக் குமிழ்கள் இல்லாதவாறு பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும்.

இவ்வாறு திரவம் நிரப்பப்பட்ட முப்பட்டகத்தைப் போலவே நிறமாலைமானியின் முப்பட்டக மேடை மீது வைக்கப்பட்டு முப்பட்டகத்தின் கோணமும், சிறும திசைமாற்றக் கோணமும் கண்டு பிடிக்கப்படுகின்றன. பின்னர் $\mu = \frac{\sin\frac{A+D}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$ என்னும் வாய்பாட்டின் உதவியால் திரவத்தின் ஒளி விலகல் எண் μ கண்டறியப்படுகிறது.

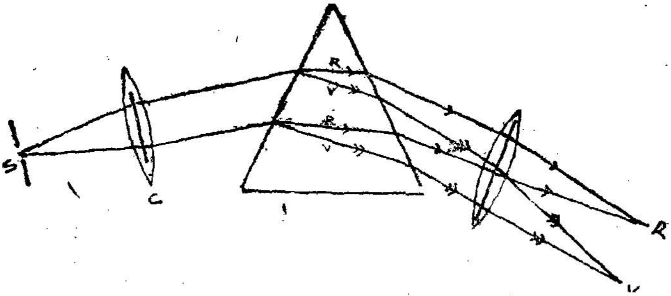
5. நிறப்பிரிகையும் நிறமாலையும்
(Dispersion & Spectrum)

ஒரு முப்பட்டகத்தின் வழியே செல்லும் வெண்ணிற ஒளிக் கதிர், விலக்கமுற்றுப் பல நிறங்களாகப் பிரிந்து வெளி வருகிறது. முப்பட்டகத்தின் மறுபக்கத்தில் திரை ஒன்றைப் பிடித்தால் அதில் ஊதா (Violet) ஒரு விளிம்பிலும், சிவப்பு நிறத்தை மறு விளிம்பிலும் கொண்ட வானவில் போன்ற வண்ணப்பட்டை ஒன்று காட்சி தரும். வண்ணங்கள் ஊதா, கருநீலம், நீலம், பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு (VIBGYOR) என்ற வரிசையில் அமைந்திருக்கும். இவ்வண்ணத் தோற்றம் நிறமாலை (Spectrum) எனப்படும். வண்ண ஒளிக்கலவை ஒன்றை முப் பட்டகம் போன்ற ஒன்றைக் கொண்டு அதன் மூல வண்ணங் களாகப் பிரிக்கின்ற செயல் நிறப்பிரிகை (Dispersion) என்றழைக் கப்படுகிறது.

நிறப்பிரிகை ஏன் ஏற்படுகிறது ?

வெண்ணிற ஒளி, குறிப்பாக ஏழு வண்ணங்களின் கலவை யாகும். ஸ்நெல் விதிப்படி (Snell's law) ஓர் ஊடகத்தின் ஒளி விலகல் எண் வண்ணத்திற்கு வண்ணம் வேறுபடும் என்பதை அறிவோம். எனவே கண்ணாடி, வண்ணத்திற்கு ஒன்றாக ஏழு வண்ணங்களுக்கும் ஏழு ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு வெண்ணிற இணைக்கற்றை முப்பட்டகத்தின் முதல் முகத்தில் படும்போது, அதிலுள்ள ஏழு வண்ணங்களும் ஒரே அளவுள்ள படுகோணத்தில்தான் விழுகின்றன. அவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்கள் மாறுபடுவதால் அவை வெவ்வேறு விலகு கோணங்களில் விலக்கமுறுகின்றன. இதனால் நிறப்பிரிகை ஏற்படு கிறது. அவ்வாறு பிரிந்த கதிர்கள் தனித்தனியே முப்பட்டகத்தின் மற்ற முகத்தில் பட்டுத் தனித் தனியே விலக்கமுற்று வெவ்வேறு திசைகளில் செல்கின்றன.

முப்பட்டகத்தால் பிரிக்கப்பட்ட வண்ணக் கதிர்கள் ஒன்றின் மேலொன்ருக சேர்ந்து தோன்ருமல், தனித்தனியே தெளிவாகக் காணப்பட்டால் அந் நிறமாலை தெளிவான நிறமாலை (pure spectrum) எனப்படும். பின்வரும் அமைப்பைக் கொண்டு தெளிவான நிறமாலையைப் பெறலாம்.



படம் 26

S என்பது வெண்ணிற ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு (Slit) ஆகும். இப்பிளவு C என்ற குவி வில்லையின் முதன்மைக் குவியத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே, பிளவிலிருந்து கிளம்பி விரிகற்றையாக வில்லையின் மீது விழும் ஒளி, இணைக்கற்றையாக வெளிவருகிறது. இவ்வாறு இணையாக்கப்பட்ட வெண்ணிறக் கற்றை ஒரே அளவுடைய படுகோணத்தில் முப்பட்டகத்தின் முதற் பக்கத்தில் விழுகிறது. இதனுல் ஒவ்வொரு வெண்ணிறக் கதிரிலிருந்தும் பிரிந்த ஒரு நிறக் கதிர்கள் எல்லாம் இணையாக இருக்கும். அஃதாவது எடுத்துக்காட்டாக எல்லாச் சிவப்பு நிறக் கதிர்களும் தங்களுக்குள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகும். இத்தகைய ஒரு நிறக்கதிர்கள் எல்லாம் முப்பட்டகத்தின் மற்ற முகத்தில் ஒரே அளவுடைய படுகோணத்தில் பட்டு, விலகிச் சென்று ஒரே திசையில் வெளிவருகின்றன. இதே போன்று ஒவ்வொரு வண்ணமும் ஒவ்வொரு திசையில் வெளிவருகின்றன. இவ்வாறு ஏழு இணைக்கற்றைகள் ஏழு திசைகளில் வெளி வருகின்றன. அவ்வாறு வரும் கற்றைகளின் பாதையில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் T என்ற மற்ருெரு குவி வில்லை ஒவ்வொரு நிற ஒளிக்கற்றையையும் ஒவ்வொரு இடத்தில் குவியச் செய்கிறது. இதனுல் ஏழு நிறங்களும் தனித்தனியாகத் தெளிவாகத் தெரி கின்றன.

பல்வேறு வகையில் நிறமாலைகளைப் பெறுவது அவற்றைக் கொண்டு பல்வேறு நிறங்களுக்குரிய அலைநீளங்களைக் காண்பது

போன்றவற்றை 'நிறமாலையியல்' என்னும் தலைப்பில் காண்போம்.

நிறமாலையியல்
(Spectroscopy)

கலப்பு வண்ண ஒளியை அதன் உறுப்பு வண்ணங்களாகத் தனித்தனியே பிரித்து விடுகின்ற நிகழ்ச்சியே நிறப்பிரிகை என்பதை முன்பு அறிந்து கொண்டோம், அவ்வாறு பிரிக்கப் பட்ட நிறங்களின் அணி அல்லது வரிசை நிறமாலை எனப்படும். இந் நிறமாலைகளைப் பெறுகின்ற முறை. இந் நிறமாலைகளின் வகை ஆகியவற்றைப்பற்றி அறிகின்ற துறை நிறமாலையியல் எனப் படும். வெண்ணிற ஒளி, முப்பட்டகம் ஒன்றின் வழியே செலுத்தப் பட்டால் நிறப்பிரிகை ஏற்பட ஊதா, கருநீலம், நீலம், பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு என்ற ஏழு வண்ணங்களாகப் பிரிந்து மேலே குறிப்பிட்ட வரிசைப்படி தோன்றும், அவற்றுள் ஊதா நிறம் மிகுந்த திசை மாற்றமும், சிவப்பு நிறம் குறைந்த திசை மாற்றமும் அடைந்திருக்கும்.

பிரிதிறன் (Dispersive power)

முப்பட்டகத்தில் நிறப்பிரிகை நிகழும்போது ஊதா நிறம் d_v என்ற திசைமாற்றக் கோணத்திலும், சிவப்பு நிறம் d_r என்ற திசை மாற்றக் கோணத்திலும் பிரிக்கப்பட்டால் முப்பட்டகத்தின் பிரி திறன் $= \frac{d_v - d_r}{d}$ ஆகும். இங்கு d என்பது மேற்கூறிய இரு நிறங்களின் சராசரி திசை மாற்றக் கோணமாகும். ஒரு முப்பட்ட கத்தின் கோணமாகிய A மிகச் சிறியதாக இருப்பின்,

$$\mu = \frac{\text{Sin}\,\frac{A+D}{2}}{\text{Sin}\,A/2}$$ என்பதை,

$$\mu = \frac{A+d}{A}$$ என எழுதலாம்.

ஆகவே, $d = (\mu - 1)\,A$ ஆகும்.

எனவே, $d_v - d_r = \left(\mu_v - \mu_r\right) A$ ஆகும்.

$$d = (\mu - 1)\,A$$

ஆகவே, பிரிதிறன் $\frac{d_v - d_r}{d} = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$ ஆகும்.

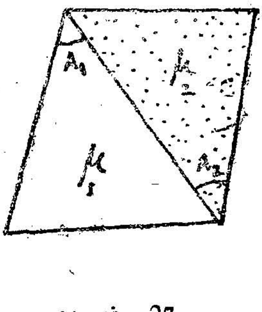
இங்கு μ என்பது μ_v மற்றும் μ_r ஆகியவற்றின் சராசரியாகும்.

நேர்க்காட்சி நிறமாலை காட்டி (Direct vision Spectroscope)

சாதாரணமாக நிறமாலை உண்டாக்கும்போது நிறப்பிரிகையுடன், திசை மாற்றமும் உண்டாகிறது. தக்க இரு முப்பட்டகங்களின் கூட்டமைப்பினால் திசைமாற்றமின்றி நிறப்பிரிகை உண்டாக்கலாம், இம் முறைப்படி அமைக்கப்பட்டிருப்பதுதான் நேர்க்காட்சி நிறமாலைகாட்டி. இதைப் பயன்படுத்தி நிறமாலையின் அமைப்பினைக் காணலாமே தவிர அளவிட முடியாது.

திசைமாற்றமின்றி நிறப்பிரிகை உண்டாக்கும் முறை

A_1 மற்றும் A_2 என்ற கோணங்களைக் கொண்ட இரு முப்பட்டகங்களை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே μ_1 மற்றும் μ_2 என்போம். முப்பட்டகங்கள் இரண்டும் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறும், அடிப்பக்கங்கள்



படம் 27

எதிரெதிர்த் திசைகளைப் பார்த்துக் கொண்டிருக்குமாறும் படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு அமைப்போம். இதனால் ஒரு முப்பட்டகத்தினால் உண்டாகும் திசைமாற்றத்தை மற்றொரு முப்பட்டகத்தில் ஏற்படும் திசைமாற்றம் எதிர்க்கிறது. d_1 மற்றும் d_2 என்பன அவை உண்டாக்கும் திசைமாற்றங்கள் என்றால்,

$$d_1 = A_1 (\mu_1 - 1)$$
$$d_2 = A_2 (\mu_2 - 1)$$

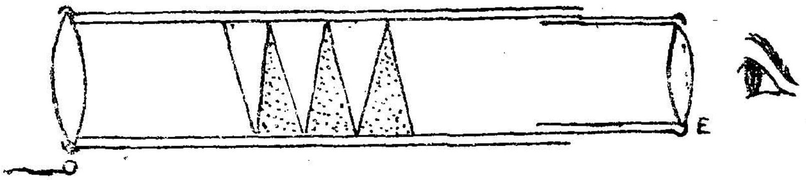
திசைமாற்றமில்லா நிலையை அடைய $d_1 = d_2$ ஆக இருக்க வேண்டும். அஃதாவது,

$$A_1(\mu_1 - 1) = A_2(\mu_2 - 1)$$

$$\therefore \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{\mu_2 - 1}{\mu_1 - 1}$$

மேற்கூறியவாறுள்ள முப்பட்டகக் கோணங்களையும் விலகல் எண்களையும் கொண்ட முப்பட்டகங்களின் கூட்டமைப்பு திசை மாற்றமில்லாத நிறப்பிரிகை உண்டாக்கும்.

நேர்க்காட்சி நிறமாலைமானியில் கிரௌன் மற்றும் ஃபிளிண்ட் கண்ணாடிகளினால் செய்யப்பட்ட இரு முப்பட்டகங்களைக் கொண்ட கூட்டு அமைப்பு இருக்கிறது. நீண்ட குழாயின் ஒரு முனையில் குறுகிய பிளவு ஒன்றும் அதிலிருந்து சிறிது தூரத்திற்கு அப்பால் இணையாக்கி வில்லை (collimating lens) ஒன்றும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குழாயின் நடுப்பகுதியில் கிரௌன் மற்றும் ஃபிளிண்ட் கண்ணாடி முப்பட்டகங்களின் கூட்டமைப்பு வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. குழாயின் மறுமுனையில் கண்ணருகு வில்லை



படம் 28

அமைப்பு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. நிறமாலை பெற வேண்டிய ஒளியைக் கொண்டு பிளவு ஒளியூட்டப்படுகிறது. பிளவிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை இணையாக்கி வில்லையினால் இணைக்கற்றை யாக்கப்பட்டுக் கூட்டு முப்பட்டக அமைப்பை அடைகிறது. அங்குத் திசைமாற்றமின்றி உண்டாகும் நிறப்பிரிகையை கண்ணருகு வில்லை அமைப்பின் மூலமாக நாம் தெளிவாகப் பார்க்கலாம்.

நிறமாலைகள்

நிறமாலைமானியிலுள்ள பிளவினைச் சோடியம் ஒளி கொண்டு ஒளியூட்டினால், அவ்வொளி நிறப்பிரிகையடைந்து 5890 ஆ. அலகுகள் மற்றும் 5896 ஆ. அலகுகள் அலைநீளம் கொண்ட இரு நிறமாலை வரிகளாகத் தோன்றுகின்றன. இவ்விரு வரிகளும் சோடியத்தின் தற்சிறப்பு வரிகள் (Characteristic lines) என்றழைக்கப்படு

கின்றன. இவ்வாறே ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் குறிப்பிட்ட அலை நீளங்களைக் கொண்ட தற்சிறப்பு வரிகள் உண்டு. இம் முறையினால் பொருள்களை இனம் பிரித்து அறியலாம். ஒவ்வொரு பொருளும் தக்கவாறு கிளர்ச்சியூட்டினால் (excited) அவை அவற்றின் தற்சிறப்பு நிறமாலை வரிகளைத் தரும். ஒரு பொருளின் நிறமாலையில் சோடியத்துக்கு உரிய வரிகள் காணப்பட்டால் அதில் சோடியக் கூறுகள் உள்ளன என்றும், பாதரசத்திற்குரிய வரிகள் காணப்பட்டால் பாதரசக் கூறுகள் இருக்கின்றன என்றும் இவ்வாறே எந்தத் தனிமத்தின் (element) சிறப்பு வரிகள் காணப்படுகின்றனவோ அத்தனிமத்தின் கூறுகள் அப் பொருளில் இருக்கின்றன என்றும் அறியலாம். அவ்வாறின்றி இதுவரை காணாத புதிய வரிகள் காணப்பட்டால் புதிய தனிமம் ஒன்று இருக்கிறது என ஊகிக்கலாம். நியான், செனான், கிரிப்டான், இன்டியம், தோரியம் போன்ற தனிமங்கள் நிறமாலையியல் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டனவே ஆகும். மேலும் கதிரவனைச் சுற்றியுள்ள நிறமண்டலத்தில் (chromosphere) உள்ள தனிமங்களைப் பற்றிய உண்மை நிறமாலைகளின் மூலமே வெளிப்பட்டன. இம் முறையில் தனிமங்களைப் பகுத்தறிதல் இருவழிகளில் நன்மை பயக்கிறது. (1) சிறிதளவு பொருளைக் கொண்டே ஆய்வு நடத்த முடியும், (2) விண்ணில் உள்ள பொருள்களையும் இங்கிருந்தபடியே ஆராயலாம்.

நிறமாலை வகைகள்

பொதுவாக நிறமாலைகளை இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். அவை (1) உட்கவர் நிறமாலை (2) வெளிவிடு நிறமாலை என்பன. வெளிவிடும் நிறமாலையை மேலும் மூன்று உட்பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அவையாவன (a) தொடர் நிறமாலை (b) வரி நிறமாலை (c) பட்டை நிறமாலை.

(a) தொடர் நிறமாலை (Continuous Spectrum)

ஒரு நிறமாலைமானியின் பிளவுகளைக் கரிச்சுடர் விளக்கு (Carbon arc) ஒளி கொண்டு ஒளியூட்டுவதாகக் கொள்வோம். அப்போது ஏற்படும் நிறப்பிரிகையில் ஊதாவிலிருந்து சிவப்பு வரை பல நிறங்கள் ஒன்றை அடுத்து ஒன்று வரிசையாகத் தொடர்பு அறாத வகையில் காணப்படும். ஒவ்வொரு நிறத்திலும் ஒரு பகுதி பெருமச் செறிவுடன் காணப்படும். இந் நிறங்களின் அலை நீளங்கள் 4000 ஆ. அலகுகளுக்கும் 7500 ஆ. அலகுகளுக்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும். வில்விளக்கின் வெப்பநிலையை உயர்த்

தினால் பெருமச்செறிவுடன் விளங்கும் பகுதிகள் குறைந்த அலை நீளமுடைய பக்கமாக (ஊதா நிறத்தை நோக்கி) நகரும்.

(b) வரிநிறமாலை (Line Spectrum)

நிறமாலைமானியின் பிளவினைப் பாதரச வில் விளக்கு அல்லது சோடிய ஆவி விளக்கு இவற்றிலிருந்து வரும் ஒளியைக் கொண்டு ஒளியூட்டினால், கருமையான பின்னணியில் நன்கு வரையறுக்கப் பட்ட, தெளிவான நிற வரிகள் காணப்படும். இவ் வரிகள் ஒவ்வொன்றும் குறிப்பிட்ட அலைநீளமுடையவை. எடுத்துக்காட்டாகச் சோடியம் ஒளி 5890, 5896 ஆ. அலகுகள் கொண்ட இரு வரிகளைத் தரும். இது போலவே பாதரச வில்விளக்கு ஊதாப் பகுதியில் ஒன்றும், நீலப் பகுதியில் ஒன்றும், பச்சைப் பகுதியில் ஒன்றும், மஞ்சள் பகுதியில் இரண்டும், சிவப்புப் பகுதியில் இரண்டும் ஆக ஏழு வரிகளைத் தரும். இவ் வரிகள் ஒவ்வொன்றும் குறிப்பிட்ட அலை நீளங்களைப் பெற்றிருக்கும். இவை அப்பொருள் அணு நிலையில் இருக்கும்போது வெளியிடப் படுகின்றன. எனவே இவற்றை அணு நிறமாலை (atomic spectra) என்றும் கூறுவர்.

(c) பட்டை நிறமாலை (Band Spectrum)

இவ்வகை நிறமாலையில், கருப்பு நிறப் பின்னணியில் வரிசை யாகப் பல ஒளிப்பட்டைகள் தோன்றுகின்றன. பட்டைகள் ஒவ் வொன்றிலும் ஒரு விளிம்பு தெளிவாக வரையறுக்கப்பட்டும் மற்ற விளிம்பு கரைந்து செல்வது போலும் காணப்படும். இப் பட்டை களை அதிகப் பகுதிறன் கொண்ட நிறமாலை மானியின் மூலம் கூர்ந்து நோக்கினால், ஒவ்வொரு பட்டையிலும் பல நிறமாலை வரிகள் இருப்பதையும் அவை பட்டையின் தெளிவான விளிம்பில் நெருக்கமாகவும் கரைந்து செல்லும் விளிம்பு நோக்கிப் போகப் போக ஒன்றிலிருந்து ஒன்று விலகியும் இருப்பதைப் பார்க்கலாம். பட்டைகளின் தெளிவான விளிம்பு குறைந்த அலை நீளப்பக்கத்தில் காணப்படும். இது பட்டையின் தலை எனப்படும். மூலக்கூறு நிலையிலுள்ள பொருள்கள் பட்டை நிறமாலையை வெளியிடு கின்றன. எனவே, இந் நிறமாலையை மூலக்கூறு நிறமாலை (molecular spectrum) என்றும் கூறுவர்.

மேற்கூறிய மூன்றுவகை நிறமாலைகளிலும், கருப்புப் பின்னணி யில் ஒளி வரிகளும் பட்டைகளும் காணப்படுவதால் வெளிவிடப் படுவதால் இவை பொதுவாக வெளிவிடு நிறமாலை (emission spectrum) எனப்படுகின்றன.

உட்கவர் நிறமாலை
(Absorption Spectrum)

ஒளி புகும் ஊடகத்தின் வழியே ஒரு பல வண்ண ஒளி செல்லும் போது ஒளியின் ஒரு பகுதி அவ் வூடகத்தால் உட்கவரப் படுகிறது. வெவ்வேறு நிற ஒளிகள் வெவ்வேறு அளவில் உட்கவரப்படுகின்றன. இது பொதுவான உட்கவர்தல் (general absorption) எனப்படும். வேறு சில ஊடகங்கள் ஒளியில் உள்ள குறிப்பிட்ட சில நிறங்களை (அலை நீளங்களை) மட்டுமே உட்கவரும் திறன் உடையவை. இவ்வாறு சில நிறங்களை மட்டுமே உட்கவருகின்ற நிகழ்ச்சி தேர்ந்து உட்கவர்தல் (Selective absorption) எனப்படும்.

சோடிய ஆவியின் உட்கவர்தல் நிறமாலையைப் பின்வருமாறு பெறலாம். நிறமாலைமானியின் பிளவினைக் கரிவில்விளக்கு ஒளி போன்ற ஒரு பல வண்ண ஒளி கொண்டு ஒளியூட்டுவோம். நிறப் பிரிகை ஏற்பட ஊதாவிலிருந்து சிவப்புவரை அஃதாவது 4000 ஆ. அலகிலிருந்து 7500 ஆ. அலகு வரையுள்ள எல்லா அலை நீளங்களையும் கொண்ட தொடர் நிறமாலை காணப்படும். இதில் 5890 மற்றும் 5896 ஆ. அலகுகள் கொண்ட சோடிய வரிகளும் சேர்ந்துள்ளன. இப்போது கரிச்சுடர் விளக்கிற்கும் நிறமாலைமானியின் பிளவிற்கும் இடையே சோடிய ஆவி விளக்கினை வைத்துத் தொலைநோக்கியின் வழியாகத் தொடர் நிறமாலையை மீண்டும் நோக்கினால் அதன் மஞ்சள் நிறப்பகுதியில் 5890 மற்றும் 5896 ஆ. அலகுகள் கொண்ட வரிகளின் இடத்தில் இரு இருள் வரிகள் காணப்படுகின்றன. கரிச்சுடர் விளக்கை அணைத்துவிட்டுச் சோடியம் ஆவி விளக்குமட்டும் பிளவினை ஒளியூட்டுமாறு செய்தால் அந்த இருள் வரிகளின் இடத்தில் கருப்புப் பின்னணியில் இரு மஞ்சள் வரிகள் காணப்படுவதைப் பார்க்கலாம். மேற்கூறியவாறு ஒரு தொடர் நிறமாலையில், சோடியத்தின் வெளிவிடும் நிறமாலையில் உள்ள ஒளிவரிகளின் இடத்தில் காணப்படும் இருள் வரிகளுக்குச் சோடியத்தின் உட்கவர் நிறமாலை என்று பெயர்.

மேற்கூறிய இருள் வரிகளின் தோற்றத்திற்கான விளக்கத்தைப் புன்சன், கிர்ச்சாவ் (Bunsen and Kirchhoff) என்ற அறிஞர்கள் கூறினார்கள். அவர்கள் கூறிய விளக்கத்திற்கு நேர் எதிர்த் தத்துவம் (principle of reversal) என்று பெயர். அதனைப் பின்வருமாறு கூறுவர். தக்கவாறு கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட போது

குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய ஒளியை வெளிவிடுகின்ற வாயு அல்லது ஆவி, அதைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கின்ற பல நிறத் தோற்றுவாய் ஒன்று வெளிவிடும் ஒளியிலுள்ள மேற் கூறிய அதே அலை நீளமுள்ள ஒளியை உட்கவரும் தன்மை யுடையது".

இதனால் 5890 மற்றும் 5896 என்ற அலை நீளமுடைய ஒளியை வெளிவிடுகின்ற சோடியம் ஆவி, அதைவிட உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள கரிச்சுடர் விளக்கிலிருந்து வெளிவருகின்ற ஒளியிலுள்ள 5890 மற்றும் 5896 ஆ. அலகுகள் அலை நீளமுள்ள ஒளிகளை உட்கவர்ந்து விடுகிறது. எனவேதான் அவ்விடங்களில் இருள் வரிகள் காணப்படுகின்றன.

சூரிய நிறமாலை (கதிர்நிறமாலை) (Solar Spectrum)

நிறமாலைமானியின் பிளவு சூரிய ஒளியால் ஒளியூட்டப்படு வதாக வைத்துக்கொள்வோம். அப்போது நிறப்பிரிகை ஏற்பட்டு ஊதாவிலிருந்து சிவப்பு வரையுள்ள பல நிறங்களைக் கொண்ட தொடர் நிறமாலை தோன்றும். அத் தொடர் நிறமாலையின் பன்னிறப் பின்னணியில் நூற்றுக்கணக்கான மெல்லிய கருப்பு வரிகள் காணப்படும். இக் கருப்புவரிகளைப்பற்றி முறையாக ஆராய்ச்சிகள் செய்தவர் ஃபிராங்ஹோஃபர் என்ற மேதையாவர். எனவே சூரிய ஒளியினால் ஏற்படும் தொடர் நிற மாலையில் காணப் படும கருப்பு வரிகள் ஃபிராங்ஹோஃபர் வரிகள் (Fraunhofer lines) என்றழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வரிகளில் A, B, D_1, D_2, E, b_1, b_2, b_4, F, G^1, G, எனப் பெயரிடப்பட்ட வரிகள் குறிப்பிடத்தக்க சில வரிகளாகும். அவற்றில் A, B, C ஆகியவை சிவப்பு நிறப் பகுதியிலும், D_1 D_2 என்பன மஞ்சள் நிறப்பகுதியிலும், E, b_1, b_2, b_4 என்பன பச்சை நிறப் பகுதியிலும், F, G^1, G என்பன நீலநிறப் பகுதியிலும் காணப்படுகின்றன.

நேர் எதிர்த்தத்துவத்தைக்கொண்டு ஃபிராங்ஹோஃபர் வரிகளுக் குப் பின்வரும் விளக்கம் தரப்படுகிறது. சூரியனின் ஒளி உமிழும் மையப் பகுதி ஒளிமண்டலம் (photo sphere) எனப்படுகிறது. இது மிக உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கிறது. இது பல வண்ண ஒளியை வெளிவிடுகிறது. ஒளி மண்டலத்தைச் சுற்றிப் பல தனிமங் களின் ஆவிகளும், வாயுக்களும் நிறைந்த ஒளிமண்டலத்தைவிடக் குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள நிறமண்டலம் (chromosphere) சூழ்ந்திருக்கிறது, ஒளிமண்டலத்திலிருந்து வரும் சூரியனின் வெண்

ஹிறக் கதிர்கள் நிறமண்டலத்தின் வழியே வரும்போது அங்குள்ள ஆவிகளும், வாயுக்களும் தேர்ந்தெடுத்த உட்கவர்தல் மூலம் அதிலுள்ள குறிப்பிட்ட பல அலை நீளமுடைய ஒளிகளை உட்கவர்ந்து விடுகின்றன. எனவேதான் தொடர்நிற மாலையில் அவ்விடங்களில் அவ்வலை நீளத்திற்குரிய வரிகள் காணப்படுவதில்லை. அஃதாவது கருப்பு வரிகள் காணப்படுகின்றன. நிறமண்டலத்தில் ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன், சோடியம், இரும்பு, மக்னீஷியம் போன்ற தனிமங்களின் வாயுக்களும் ஆவிகளும் இருக்கின்றன. எனவே, அவை அவற்றின் தற்சிறப்பு நிறமாலையில் காணப்படும் வரிகளை உட்கவரும் ஆற்றல் பெற்று விளங்குகின்றன. ஆகவே, சூரியனின் தொடர் நிறமாலையில் மேற்கூறிய தனிமங்களின் சிறப்பு வரிகள் காணப்படா. ஆகையினுல் ஒளியற்ற அவ்விடங்கள் கருப்பு வரிகளாகத் தெரிகின்றன.

புற ஊதா, அகச்சிவப்பு நிறமாலைகள்
(ultra-violet and Infra-red Spectra)

4000 ஆ. அலகுகளுக்கும் 7500 ஆ அலகுகளுக்கும் இடைப்பட்ட அலை நீளமுடைய ஒளிகளை மட்டுமே நம் கண்ணுல் காண இயலும். 4000 ஆ. அலகுகளுக்குக் கீழே 150 ஆ. அலகுகள் வரையுள்ள புற ஊதா ஒளி (ultra-violet light) எனப்படும். இது நம் கண்ணுக்குப் புலனுவதில்லை. இதுபோன்றே 7500 ஆ. அலகுகளுக்கு மேல் 10^6 ஆ. அலகுகள் வரை உள்ள ஒளி அகச்சிவப்பு ஒளி (Infra-red light) எனப்படும். இதவும் இதற்குமேல் அலைநீளமுடைய ரேடியோ அலைகளும் நம் கண்ணுக்குப் புலனுகாத ஒளிகளே ஆகும்.

கண்ணுடி முப்பட்டகங்களும், வில்லைகளும் புற ஊதாக் கதிர்களை உட்கவரும் ஆற்றல் உடையவை. ஆதலால் இவற்றின் நிறமாலையைப் பெறுவதற்குக் குவார்ட்ஸ் முப்பட்டகங்களையும், வில்லைகளையும் பயன்படுத்த வேண்டும். இவற்றைக் கண்ணுல் பார்க்க முடியாது. ஆகையால் இவற்றின் நிறமாலைகளைத் தக்க ஒளிப்படத்தகடுகளைப் பயன்படுத்திப் படம் எடுத்துத்தான் ஆய்வுகள் நடத்தவேண்டும்.

இதே போன்று கண்ணுடி அகச்சிவப்புக் கதிர்களையும் உட்கவரும் ஆற்றல் உடையது. ஆதலால் குவார்ட்ஸ் வில்லைகளையும் முப்பட்டகங்களையும் கொண்ட நிறமாலைமானியைப் பயன்படுத்தி இதன் நிறமாலையைப் பெறவேண்டும். இந் நிறமாலையை நாம் கண்ணுல் காண இயலாது. ஆகையால் இதையும் தகுந்த ஒளிப்படத் தகடுகளைப் பயன்படுத்தி ஒளிப்படம் எடுக்கவேண்டும்.

6. ஒளியின் திசைவேகம்
(Velocity of light)

கலிலியோவின் முயற்சி

ஒளி ஒரு குறிப்பிட்ட திசைவேகத்துடன் செல்லும் என்ற கருத்தில் நம்பிக்கை வைத்த கலிலியோ, செய்முறை மூலம் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடும் முயற்சியில் இறங்கினார்; A, B என்னும் இரு ஆய்வாளர்களை, ஒன்றுக்கொன்று சில மைல் தூரத்திலுள்ள இரு மலை உச்சிகளின் மீது நிற்கச் செய்து, வேண்டும்போது திறக்கவும் மற்ற சமயங்களில் மூடவும் கூடிய இரு விளக்குகளை அவர்களிடம் தந்தார். முதலில் A என்பவர் தம்மிடமுள்ள விளக்கைத் திறக்க வேண்டும். அதே நேரத்தில் அவர் தம்மிடம் உள்ள கடிகாரத்தையும் ஓடவிட வேண்டும். A-யின் விளக்கிலிருந்து கிளம்பிய ஒளி B என்ற ஆய்வாளரின் கண்ணில் பட்டவுடன் அவர் விரைந்து தம்முடைய விளக்கைத் திறக்கவேண்டும். B ன் விளக்கிலிருந்து கிளம்பிய ஒளி A-ஐ அடைந்தவுடன் A தம்மிடம் இருக்கும் கடிகாரத்தை நிறுத்தி, இச் சோதனைக்கான காலத்தைக் கணக்கிடவேண்டும். இவ்வாறு செலவிட்ட நேரத்தில் ஒளி A-யிலிருந்து B-க்கும் பின் B யிலிருந்து திரும்பவும் A-க்கும் வந்து சேர்வதற்கான நேரத்துடன் A, B ஆகியோர் ஒளியைக் கண்டவுடன் விளக்கினைத் திறப்பதற்குச் செலவிடும் காலமும் அடங்கும். இச் சோதனையின் வெற்றி ஆய்வாளர்களின் சுறுசுறுப்பினைப் பொருத்திருக்கிறது. ஆய்வாளர்களைப் பல மைல்களுக்கு அப்பால் பிரித்துவைத்து மேற்கூறிய சோதனையைச் செய்தபோதும் A தம் விளக்கைக் திறப்பதிலிருந்து B-ன் விளக்கொளியைக் கண்டு, விளக்கை மூடுவதுவரை செலவான காலத்தில் மாறுபாடு ஏதும் காணப்படவில்லை. இதைக் கண்ட கலிலியோ இம்முறையில் அளவிட முடியாத அளவிற்கு ஒளி மிக அதிக வேகமுடையது

என்ற முடிவிற்கு வந்தார். இன்றைய அறிவியல் முறைகளை வைத்து நோக்கக் கலிலியோவின் முறை பண்பட்ட ஒன்றன்று என்றாலும், கலிலியோ வாழ்ந்த காலத்தில் கிடைத்த கருவிகளையும் வாய்ப்புகளையும் வைத்துப் பார்க்கும் போது அவரிடம் காணப்பட்ட அறிவியல் தாகமும், தெளிவும், ஊக்கமும் பெரிதும் விளங்கும்.

ஃபோகால்ட்—சுழலும் ஆடிமுறை
(Foucault's Rotating mirror method)

S என்பது ஆற்றல் மிக்க ஓர் ஒளிமூலம். அங்கிருந்து கிளம்பிய ஒளிக்கதிர்கள் நிறப்பிறழ்ச்சியற்ற வில்லையினால் (Achromatic lens) குவிக்கப்படுகின்றன. குவிந்து செல்லும் ஒளிக் கற்றையின் பாதையில் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்த ஒரு அச்சில் சுழலுமாறு ஒரு சமதள ஆடி (*M*) அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சமதள ஆடி குவிகற்றையின் பாதையைத் திருப்பி, அதை *C* என்ற குழி ஆடியின் எதிரொளிப்புத் தளத்தில் விழச் செய்கிறது. குழி ஆடியின் வளைவு மையம் (centre of curvature) சமதள ஆடி சுழலும் அச்சாகிய *O*-ல் இருக்குமாறு அவ்விரு ஆடிகளுக்கு மிடையே உள்ள தூரம் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் சமதள ஆடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றை குழிஆடியால் வந்த வழியே திருப்பி அனுப்பப்படுகிறது. எனவே *S* என்ற மூலத்திலிருந்து கிளம்பிய ஒளிக்கற்றை அதற்கே திரும்பி வந்து அதன்மேலேயே பிம்பத்தை உண்டாக்குகிறது. மூலத்திற்கும் நிறப்பிறழ்ச்சி யற்ற வில்லைக்குமிடையே சாதாரணக் கண்ணாடித் தகடு ஒன்றைப் படத்தில் காட்டியவாறு சாய்த்து வைத்துப் பிம்பத்தைப் பக்க வாட்டில் விழுமாறு செய்யலாம். சமதள ஆடி சுழலாமலிருக்கும் போது பிம்பம் அசையாமல் S_1 என்ற இடத்தில் இருக்கும். சமதள ஆடி சீராக ஆனால் விரைந்து வலஞ்சுழியாகச் சுழல்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். குறிப்பிட்ட ஒரு நேரத்தில் சமதள ஆடி *M* என்ற நிலையில் இருக்கையில் குழி ஆடியை நோக்கி அஃது ஒளிக்கற்றையை எதிரொளிக்கிறது. அவ்வாறு எதிரொளிக்கப் பட்ட ஒளிக்கற்றை குழி ஆடிக்குச் சென்று திரும்புகின்ற இடை நேரத்தில் சமதள ஆடி சுழன்று M_1 என்ற நிலைக்கு வருகிறது. இதனால் சமதள ஆடி θ கோண அளவில் திரும்புவதாகக் கொள் வோம். இந்நிலையில் குழி ஆடியிலிருந்து திரும்பி வந்த ஒளிக் கற்றை மீண்டும் சமதள ஆடியின் (புதிய நிலையில்) மீது விழ அஃது அக் கற்றையைப் பழைய பாதைக்கு அருகே அமைந்த புதியதொரு பாதையில் செலுத்த இறுதிப் பிம்பம் S_1-ல் ஏற் படாமல் அதற்கு அருகே S_2-ல் ஏற்படுகிறது. S_1 S_2 மற்றும் ஆடி

களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் சமதள ஆடி சுழலும் வேகம் ஆகியவற்றைக் கொண்டு ஒளியின் திசைவேகத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

S_1 மற்றும் S_2 இவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரம் x என்றும், குழி ஆடியின் வளைவு ஆரம் R என்றும், சமதள ஆடி விநாடிக்கு n சுற்றுகள் வீதம் சுழல்வதாகவும் கொள்வோம்.

சமதள ஆடி θ கோண அளவு திரும்புவதற்கு $\frac{\theta}{2\pi n}$ விநாடிகள் ஆகும். இந்த நேரத்தில் ஒளி சமதள ஆடிக்கும் குழி ஆடிக்குமிடையே உள்ள தூரம் போய்த் திரும்புகிறது. குழி ஆடியின் வளைவுமையம் சமதள ஆடியின் அச்சில் அமைந்திருப்பதால் ஆடிகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் R ஆகும். எனவே, $\frac{\theta}{2\pi n}$ விநாடிகளில் ஒளி செல்லும் தூரம் $2R$ ஆகும்.

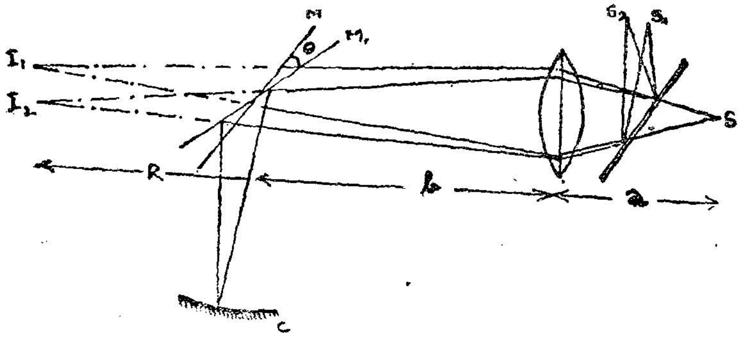
எனவே,

$$\text{ஒளியின் திசை வேகம்} = \frac{2R}{\frac{\theta}{2\pi n}}$$

$$= \frac{4\pi R n}{\theta} \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

θ என்ற கோணத்தைக் கணக்கிடல்

சமதள ஆடி இல்லை என்றும் S_1 மற்றும், S_2 என்ற இரு ஒளிப்புள்ளிகள் இருக்கின்றன என்றும் கொள்வோம். இந்நிலையில்



படம் 29

S_1ல் இருந்து கிளம்பிய ஒளிக்கதிர்கள் வில்லையினுல் குவிக்கப் பட்டு I_1 என்ற பிம்பத்தையும் S_2ல் இருந்து கிளம்பிய ஒளிக் கதிர்கள் I_2 என்ற பிம்பத்தையும் தருமல்லவா ? S என்ற மூலத் திற்கும் வில்லைக்கும் இடையே உள்ள தூரம் a என்றும் வில்லைக்கும் சமதள ஆடிக்கும் இடையே உள்ள தூரம் b என்றும் கொள்வோம்.

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு வில்லைக்கும் I_1 I_2க்கு மிடையே உள்ள தூரம் $(R+b)$ ஆகுமென்பதை ஊகித்துணரலாம். எனவே,

$$\frac{I_1 I_2}{S_1 S_2} = \frac{(R+b)}{a} \text{ ஆகும்.}$$

$$I_1 I_2 = \frac{S_1 S_2 (R+b)}{a}$$

$$= \frac{x (R+b)}{a} \quad \because S_1 S_2 = x$$

ஆடி θ கோண அளவில் திரும்பும் போது பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றை 2θ கோணம் திரும்பும் ஆகையால் I_1 I_2 என்பன சமதள ஆடியில் தாங்கும் கோணம் 2θ ஆகும்.

எனவே,

$$2\theta = \frac{I_1 I_2}{R} \quad \left[\because \text{ கோணம் } = \frac{\text{வில்}}{\text{ஆரம்}} \right]$$

$$\therefore \quad \theta = \frac{I_1 I_2}{2R}$$

$$= \frac{x (R+b)}{2Ra}$$

θ- மதிப்பினைச் சமன்பாடு (1)ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\therefore \text{ ஒளியின் திசை வேகம் } C = \frac{4\pi Rn \times 2Ra}{x (R+b)}$$

$$= \frac{8\pi R^2 na}{x (R+b)}$$

∴ போகால்ட் நிகழ்த்திய சோதனையில் $R = 20$ மீட்டர், S_1 $S_2 = 0{\cdot}7$ மி. மீ., $n =$ விநாடிக்கு 438 சுற்றுகள் ஆகவும் இருந்தன. இச் சோதனையில் அவர் ஒளியின் திசைவேகம் விநாடிக்கு $2{\cdot}98 \times 10^{10}$ செ.மீ., எனக் கண்டறிந்தார்.

ஃபோகால்ட் முறையின் சிறப்புகள்

இம் முறையில் திரவங்களிலும் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கண்டறியலாம். எந்தத் திரவத்தில் ஒளியின் திசை வேகம் அறிய வேண்டுமோ அந்தத் திரவத்தை ஒரு குழாயில் நிரப்பி அக் குழாயைச் சமதள ஆடிக்கும், குழி ஆடிக்கும் இடையே ஒளியின் பாதையில் வைக்கவேண்டும். இம் முறையில் ஃபோகால்ட் நிகழ்த்திய சோதனைகளின் வாயிலாகக் காற்றில் இருப்பதைவிடத் திரவங்களில் ஒளியின் திசைவேகம் குறைவு என்று கண்டார். மேலும், காற்றில் ஒளியின் திசைவேகத்திற்கும், நீரில் ஒளியின் திசை வேகத்திற்கும் உள்ள விகிதம் நீரின் ஒப்படர்த்தி (specific gravity) யாகிய 1·33 ஆக இருப்பதைக் கண்டார், இவ் வுண்மை ஒளிபற்றி ஹைஜின் கூறிய அலைக் கொள்கை (wave theory)க்கு செய்முறைச் சான்றாக அமைந்ததுடன், நியூட்டனின் துகள் கொள்கைக்குப் பேரிடியாகவும் அமைந்தது.

குறைகள்

(i) இம் முறையின் முடிவு x-ஐ எவ்வளவிற்கு எவ்வளவு துல்லியமாக அளவிடுகிறோமோ, அவ்வளவிற்குச் சிறப்பாக இருக்கும். இவ்வளவில் ஏற்படும் சிறு பிழையும் முடிவினைப் பெரிதும் பாதிக்கும். துல்லியமாக அளவிட x அதிகமாக்கப்பட வேண்டும். R மற்றும் b இவற்றை அதிகரிப்பதின் மூலம் x-ஐ அதிகரிக்கலாம். ஆனால் இதன் காரணமாக இறுதிப் பிம்பத்தின் பொலிவு குறைந்துவிடும்.

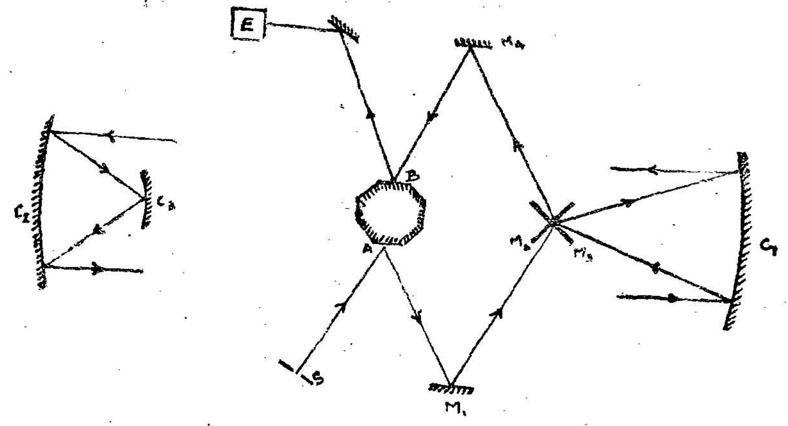
(ii) மேலும் ஆடி அசையாத நிலையில் ஒத்துவரும் எதிரொளிப்பு விதிகள் சுழலும் ஆடிக்கும் ஒத்துவரும் என்று கொள்ளப் பட்டிருக்கிறது.

மைக்கேல்சன் — முறை
(Michelson's method)

ஃபோகால்ட் முறையில் x-ஐ அளவிடுவதில் உள்ள இன்னல்களை உணர்ந்த மைக்கேல்சன் நீண்ட ஆராய்ச்சிக்குப் பின் இடப் பெயர்ச்சி அற்ற ஒரு முறையைக் கண்டார்.

இம் முறையில் S என்ற மூலத்திலிருந்து கிளம்பும் ஒளி எட்டு முகங்கள் கொண்ட ஒரு பட்டை உருவ ஆடியின் A என்ற முகத்தில் கீழ்ப்பகுதியில் விழுகிறது. A-ல் விழுந்த ஒளி பிரதி

பலிக்கப்பட்டு M_1 மற்றும் M_2 என்ற ஆடிகளை அடைந்து பின் அவைகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு C_1 என்ற குழி ஆடியை அடைகிறது. C_1 ஒளியை மிகத் தொலைவிலுள்ள C_2 என்ற மற்றொரு குழி ஆடியை நோக்கி எதிரொளிக்கிறது. C_2 தன்மேல் விழுந்த ஒளியை C_3 என்ற மூன்றாவது குழி ஆடியின் மீது குவியச் செய்கிறது, அக் குழி ஆடி ஒளியை வந்த வழியே திருப்பி அனுப்ப, ஒளி மீண்டும் C_1-ஐ அடைகிறது. அங்கிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி M_2 என்ற சமதள ஆடியின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கும் M_3 என்ற ஆடியின் மீது விழுகிறது. M_3 என்ற ஆடி M_2-க்குச் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டிருப்பதால் ஒளி M_1-க்கு



படம் 30

எதிர்ப்பக்கத்தில் உள்ள M_4 என்ற சமதள ஆடி நோக்கி எதிரொளிக்கப்படுகிறது. M_4 தன்மீது விழும் ஒளியைப் பட்டை உருவ ஆடியின் A என்ற முகத்திற்கு நேர் எதிர்முகமாகிய B-ன் மீது விழுமாறு எதிரொளிக்க, அது I என்ற பிம்பத்தை உண்டாக்குகிறது. இறுதிப் பிம்பம் M என்ற நுண்ணோக்கி வழியே காணப்படுகிறது.

பட்டை உருவ ஆடியைச் சுழற்றத் தொடங்கினால் பிம்பம் பார்வைப் புலத்தில் அசையத்துவங்கும். சுழற்றும் வேகத்தைச் சிறிது சிறிதாக அதிகரித்துக் கொண்டே வந்தால் குறிப்பிட்ட ஒரு முதல் வேகத்திற்கு (n_1) பிம்பம் அசையாமல் நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிழையில் (cross wires) நிலையாக நிற்கும். இது நிகழ, ஒளி C_1 என்ற குழியாடியிலிருந்து தொடங்கி C_2 என்ற

ஆடிக்குச் சென்று மீண்டும் C_1 என்ற குழி ஆடியை அடை வதற்கு ஆகும் இடை நேரத்தில் A என்ற முகத்தின் இடத்தை அதற்கு அடுத்த முகம் அடையுமாறு பட்டை உருவம் சுழற்றப் பட்டிருக்க வேண்டும். அஃதாவது C_1 மற்றும் C_2 என்ற ஆடி களுக்கு இடையே உள்ள தூரத்தைப் போல் இருமடங்கு தூரம் சென்று வர ஒளி எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமும் பட்டை உருவ ஆடியின் ஒரு முகம் சுழன்று அதற்கு முந்திய முகத்தின் இடத்தை அடைவதற்கு ஆகும் நேரமும் சமமாகும். C_1, C_2 என்ற ஆடிகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் D என்றும் 8 பட்டை உருவ ஆடியில் முதன் முறையாக அசையா நிலை ஏற்படும்போது ஆடி சுழலும் வேகம் வினாடிக்கு n_1 சுற்றுகள் என்றும் கொண்டால்,

$$1 \text{ சுற்றுக்கு ஆகும் நேரம்} = \frac{1}{n_1} \text{ வினாடி}$$

$$\frac{1}{8} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots = \frac{1}{8\,n_1}$$

இஃது ஒளி $2D$ தூரம் செல்ல எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமாகும்.

$$\text{எனவே, ஒளியின் திசை வேகம் } C = \frac{2D}{\frac{1}{8n_1}} = 16\,Dn_1$$

குறிப்பு

12 பட்டை உருவ ஆடி எனில் $C = 24\,Dn_1$ ஆகும் என்பதை யும், இவ்வாறே அசையா நிலை ஏற்படும் இரண்டாவது வேகம் n_2 என்றால் 8 பட்டை உருவ ஆடியில் $C = 8\,Dn_2$ ஆகும் என்ப தையும் எண்ணி உணரும் வேலை மாணவர் சிந்தனைக்கு விடப் படுகிறது.

7. ஒளிபற்றிய கொள்கைகள்
(Theories of Light)

இதுவரை ஒளிக்கதிர்கள் பற்றியும், அவற்றின் விதிமுறைகள் பற்றியும், ஒளிக் கருவிகள் பற்றியும் அறிந்தோம். இனி ஒளியின் இயல்பு பற்றி நோக்குவோம். ஒளியின் தன்மை என்ன? அது எவ்வாறிருக்கிறது என்பன போன்ற வினாக்களுக்குத் தரப்பட்ட விளக்கங்களும் செய்முறைச் சான்றுகளும் ஒளியியல்பியல் (physical optics) எனப்படும்.

ஒளியின் இயல்புபற்றிக் கூறுகின்ற எந்த ஒரு கொள்கையும் பின்வரும் அடிப்படை உண்மைகளுக்கு விளக்கம் தரக் கடமைப் பட்டிருக்கின்றது.

(1) ஒளி ஒருவகை ஆற்றல், (2) ஒளி வெற்றிடத்திலும் செல்லும் தன்மையுடையது, (3) ஒளி நேர்க்கோட்டில் செல்லும், (4) ஒளியின் எதிரொளிப்பு விதிகள், (5) ஒளியின் விலகல் விதிகள், (6) ஒரே தளத்தில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பும், விலகலும், (7) ஒளியின் வகைகளும், வண்ணங்களும், அவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்களும்.

ஒளி பற்றிய கொள்கைகள் தோன்றிய நேரத்தில் மேற்கூறிய உண்மைகள் மட்டுமே மக்களுக்குத் தெரிந்திருந்தன. ஒளியின் குறுக்கீடு (interference of light) ஒளியின் விளிம்பு விளைவு (diffraction of light), ஒளிமின் விளைவு (photo electric effect) தள விளைவு (polarisation) போன்ற விளைவுகள் தெரிந்திராத நேரம் அது. எனவே எழுந்த கொள்கைகள் இரண்டும் மேலே கூறிய அடிப்படை உண்மைகளுக்கு விளக்கம் தரவே முனைந்தன.

(i) துகள் கொள்கை
(Corpuscular Theory)

இக்கொள்கையாளரின் கூற்றுப்படி ஒளி என்பது பொலிவு மிக்க தோற்றுவாய் ஒன்றினால் வீசியெறியப்படும் மிக நுண்ணிய பொருள் துகளின் கூட்டம் ஆகும். இத்துகள்கள் மிக அதிக வேகத்தோடு செல்கின்றன. இவை நேர்க் கோட்டில் இயங்குகின்றன. இவை மனிதனுடைய கண்ணைத் தாக்கி அவனுக்குப் பார்வை உணர்வை ஏற்படுத்துகின்றன. வெவ்வேறு அளவுடைய துகள்கள் வெவ்வேறு வண்ண உணர்வைத் தருகின்றன. ஒளியின் ஆற்றல் என்பது அத் துகள்கள் சுமந்து செல்லும் இயக்க ஆற்றலே ஆகும். இத் துகள்கள் மிகமிக நுண்ணியவை ஆதலால் அவற்றை வெளியிடும் தோற்றுவாயின் எடை குறைவதில்லை. இத் துகள்களின் பாதை மற்ற பொருள்களின் இருப்பினால் (presence) மாற்றமடைகின்றது. இத் துகள்கள் எதிரொளிக்கும் தளத்திற்கு அருகில் குறிப்பிட்ட எல்லையை அடைந்தவுடன் எதிரொளிக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் செயற்படும் ஓர் எதிர்ப்பு விசைக்கு உட்படுகின்றன. இவ்வாறே விலக்கமுறச் செய்யும் தளத்தை நெருங்கும் துகள்கள் ஒருவித ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படுகின்றன என்ற கொள்கையுடையவர்களாக இருந்தனர். சர். ஐசக் நியூடன் இக் கொள்கையைப் பலமாக ஆதரித்தார்.

(ii) அலைக் கொள்கை
(Wave Theory)

இக்கொள்கையை ஹைஜின் என்ற டச்சு விஞ்ஞானி உருவாக்கினார். இதன்படி எங்கும் நீக்கமற நிறைந்திருக்கும் ஈதர் (ether) என்னும் ஊடகத்தில் ஒளி மூலம் அலைகளை உண்டாக்குகிறது. அவ்வலைகளின் மூலம் ஆற்றல் பரவுகிறது, இவ்வலைகள் மனிதனின் கண்ணில்பட 'பார்வை' என்னும் உணர்வு உண்டாகிறது. ஒளி அலைகளின் பாதையில் உள்ள ஒவ்வொரு ஈதர் துகளும் சமகால இடைவெளியில் ஒழுங்காக அதிர்வுறுகின்றன. அவற்றின் அலைவு நேரம் T என்றால், இந்த நேரத்தில் அலை λ என்ற தூரம் செல்லும். இந்தத் தூரத்திற்கு ஓர் அலை நீளம் என்று பெயர். ஒரு துகள் வினாடிக்கு f முறைகள் அதிர்வுற்றால் ஒளியின் திசை வேகம் $C=f\lambda$. ஈதர் துகள்களின் இயக்கம் சீரிசை இயக்க வகையைச் சார்ந்தது. எனவே, t என்ற கால அளவில் அத் துகளின் இடப்பெயர்ச்சி $y=a\cos wt = a\cos 2\pi ft$ என்று எழுதலாம். இங்கு a என்பது சீரிசை இயக்கத்தின் (simple harmonic

motion) வீச்சினையும் (amplitude), ω என்பது கோண திசை வேகத்தையும் குறிக்கின்றன. $2\pi ft$ என்ற பகுதி சீரிசை இயக்கத்தின் கட்டம் (phase) எனப்படும். அக் கட்டத்தின் மதிப்பு $0, 2\pi$ 4π, 6π போன்று இருப்பின் இடப்பெயர்ச்சியின் அளவு ஒரு திசையில் பெரும எல்லையையும், $\pi, 3\pi, 5\pi, \ldots$ என்று இருப்பின் இடப்பெயர்ச்சியின் அளவு எதிர்த் திசையில் பெரும எல்லையையும் பெற்றிருக்கும். ஓர் அலைவு நேரத்தில் அலை λ தூரம் முன்னேறுகிறது. அப்போது ஏற்படும் நிலைமாற்றம் 2π ஆகும். எனவே, அலை நீளம் என்பது 2π நிலைமாற்றமுடைய அடுத்தடுத்துள்ள இரு துகள்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் என்று கூறலாம்.

அலைமுகம்

ஒளி அலைகள் அதன் மூலத்திலிருந்து கிளம்பி எங்கும் நிறைந்துள்ள ஈதர் என்ற ஒரு படித்தான ஊடகத்தில் சீரான திசை வேகத்துடன் நாலாதிசைகளிலும் பரவுகின்றன. அவ்வாறு விரைந்து தொடர்ந்து விரிந்து கொண்டே செல்லும் அலைகள் தங்களின் பாதையில் உள்ள ஈதர் துகள்களை அதிர்வுறச் செய்கின்றன. அவ்வாறு முன்னேறிச் செல்லும் அலையின் முகப்பு அலைமுகம் (wave front) எனப்படும். இஃது ஒரு கற்பனைப் பரப்பு ஆகும். இதிலுள்ள எல்லா ஈதர் துகள்களும் அதிர்வுறப்போகும் நிலையிலும், இப் பரப்பிற்குப் பின்னர் உள்ளவை அதிர்வுற்ற நிலையிலும், முன்னர் உள்ளவை அதிர்வுறு நிலையிலும் இருக்கின்றன. ஒரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்புகின்ற அலை அப்புள்ளிக்கு அருகில் இருக்கையில் கோள அலைமுகம் (spherical wave front) என்றும், அதே அலை புறப்பட்ட இடத்திலிருந்து வெகு தூரம் முன்னேறிச் சென்றபின் (மிக மிகப் பெரிய கோளத்தின் பரப்பாகும்போது) அதன் பகுதி சமதள அலைமுகம் (plane wave front) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அலைமுகப்பிற்குச் செங்குத்தாக வரையப்படும் கோடு அலை முன்னேறிச் செல்லும் திசையைக் குறிக்கும்.

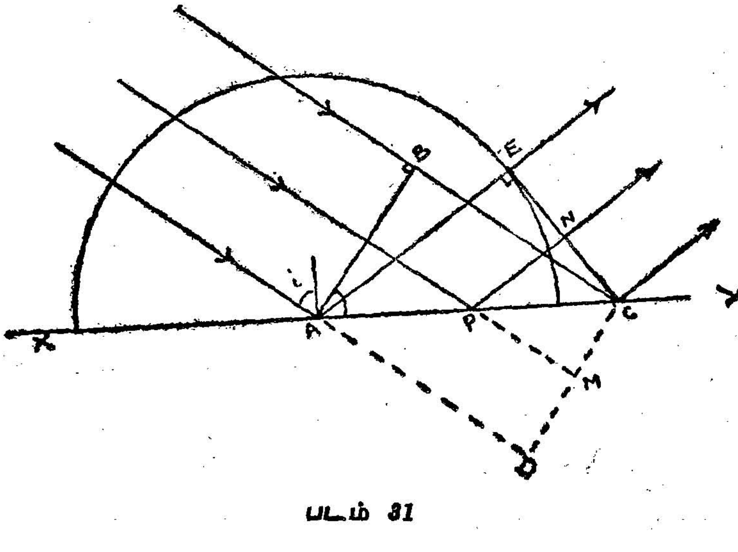
ஹைஜின் கூறிய துணைச் சிற்றலைக் கொள்கை

பொலிவுள்ள பொருளின் ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஓர் ஒளி மூலம் என்று கூறலாம். அவை ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் ஒளி அலைகள் சூழ்ந்துள்ள ஈதரில் பரவிச் செல்கின்றன. அவ்வாறு பரவிச் செல்லும் அலைமுகப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு தனி மூலமாகச் செயற்பட்டுப் பின்வரு அலைக்குட்டிகளை உண்டாக்குகின்றன. $ABCD$ என்பது ஏதோ ஓர் ஒளி மூலத்திலிருந்து கிளம்பி

விரிந்து செல்லும் அலைமுகப்பு என்று கொள்வோம். அதிலுள்ள புள்ளிகளாகிய *A*, *B*, *C*, *D* என்பன ஒவ்வொன்றும் ஒரு பின்வரு அலைக்குட்டியை எழுப்புகின்றன. *t* வினாடிகளுக்குப்பின் பின்வரு அலைக்குட்டிகள் ஒவ்வொன்றும் *Ct* என்னும் தூரம் சென்றிருக்கும். *A*, *B*, *C*, *D* என்ற புள்ளிகளை மையங்களாகவும் *Ct* என்பதை ஆரமாகவும் கொண்டு வரையப்பட்ட வட்டங்களைத் தொட்டுச் செல்லும் A_1 B_1 C_1 D_1 என்னும் உறை அவ்வலை முகப்பில் *t* வினாடிகளுக்குப் பின் இருக்கும் இடத்தைத் தருகிறது. இவ்வலைமுகப்பு நீங்கலாக மற்ற இடத்திலுள்ள பின்வரு அலைக்குட்டிப் பகுதிகள் ஒன்றை ஒன்று அழித்து மறைகின்றன. இப் புதிய அலைமுகப்பிலுள்ள புள்ளிகள் இப்போது மூலங்களாகச் செயற்பட்டுப் புதிய பின்வரு அலைக்குட்டிகளை (secondary wavelets) உண்டாக்க அவை மற்றொரு அலைமுகப்பைத் தருகின்றன.

சமதள ஆடியில் சமதள அலைமுகப்பு அடையும் எதிரொளிப்பு

XY என்பது சமதள ஆடி என்றும் *AB* என்பது அதை நோக்கி *i* என்னும் படுகோணத்தில் முன்னேறி வரும் அலைமுகப்பு என்றும் கொள்வோம். அலைமுகப்பு எதிரொளிக்கும் ஆடிப்பரப்பின்மீது படும்போது அப் பரப்பில் ஒளிவிழும் இடத்திலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு பின்வரு அலைக்குட்டியை (secondary wavelet) உண்டாக்கி முதல் ஊடகத்தினுள் அனுப்புகின்றன. *AB* என்ற



படம் 31

அலைமுகப்பு ஆடியை அடையும்போது முதலில் A என்ற புள்ளியில் முதல் பின்வரு அலைக்குட்டி எழும்பி முதல் ஊடகத்தில் விரியத் தொடங்குகிறது. அலைமுகப்பு மேலும் முன்னேறிச் செல்லச் செல்ல A-க்கு வலப் புறமுள்ள புள்ளிகள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாகப் பின்வரு அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. கடைசியாக அலைமுகப்பின் B என்ற முனை ஆடியில் C என்ற இடத்தில் பின்வரு அலைக்குட்டியைத் தோற்றுவிக்கும் நிலையில் இருக்கும். இப்போது A-யிலிருந்து கிளம்பிய முதல் பின்வரு அலைக்குட்டி BC-க்குச் சமான தூரம் முன்னேறிச் சென்றிருக்கும். இவ்வாறு A-க்கும் C-க்கு மிடையே தோன்றிய துணைச் சிற்றலைகளின் உறை பிரதிபலித்த முகப்பு எனப்படும். இதனைப் பெற C என்ற புள்ளி (வட்டம்)யிலிருந்து A-ல் துவங்கிய முதல் சிற்றலை வட்டத்திற்குத் தொடுகோடு வரைய வேண்டும். அது CE என்போம். பின்னர் AE-ஐச் சேர்க்கவேண்டும். நாம் இப்போது மெய்ப்பிக்க வேண்டியவை இரண்டாகும்.

(1) CE-ல், A-க்கும் C-க்கும் இடையிலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் இருந்து கிளம்பிய அலைக்குட்டிகள் ஒரே நேரத்தில் வந்து சேர்கின்றன.

(2) படுகோணமும் பிரதிபலித்த கோணமும் சமம்.

XY என்னும் பிரதிபலிக்கும் தளம் இல்லையென்றால் AB என்ற அலைமுகப்பு AD என்ற தூரம் முன்னேறிச் சென்று CD என்ற நிலையை அடைந்திருக்கும். இதிலிருந்து C ல் பின்வரு அலைக்குட்டி துவங்குகின்ற அதே நேரத்தில் A-ல் துவங்கிய முதல் பின்வரு அலைக்குட்டி AD-க்குச் சமமான தூரம் சென்றிருக்கும். எனவே, A-ஐ மையமாகவும் AD-ஐ ஆரமாகவும் வைத்து வரையப்படும் அரைவட்டம் முதல் ஊடகத்தில் A-லிருந்து துவங்கிய முதல் அலைக்குட்டி இருப்பிடத்தைத் தரும்.

A-க்கும் C-க்கும் இடையே P என்ற ஏதேனும் ஒரு புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம். அதிலிருந்து CD மற்றும் CE ஆகியவற்றிற்கு முறையே PM மற்றும் PN என்னும் செங்குத்துக் கோடுகளை வரைவோம். பிரதிபலிக்கும் தளம் இல்லையென்றால் படு அலைமுகப்பு (incident wave front) PM என்ற தூரம் சென்று CD என்ற நிலைக்கு வந்திருக்கும். $PM=PN$ என்று காட்டுவதன் மூலம் C-ல் சிற்றலை துவக்கும் நிலையில் இருக்கையில் P-ல் துவங்கிய பின்வரு அலைக்குட்டி CE-ல் N என்ற புள்ளியில் பின்வரு அலைக்குட்டியைத்

துவக்கும் நிலையில் இருக்கும் என்று கூறலாம், ஆகவே CNE என்பது எதிரொளிக்கப்பட்ட அலைமுகப்பு என்றுணரலாம்.

ADC மற்றும் AEC என்ற செங்கோண முக்கோணங்களை எடுத்துக் கொள்வோம். இவற்றில் AC என்பது பொது கர்ணமாகும். $AD = AE$ ஆகும். எனவே, $\triangle ADC \equiv \triangle AEC$ $\therefore$ $\angle ACD = \angle ACE$ ஆகும்.

$\triangle PMC$ மற்றும் PNC ஆகியவற்றில் PC பொதுவான பக்கம்.

$\angle PNC = \angle PMC = 90^\circ$

$\angle NCP = \angle MCP \because \angle ACD = \angle ACE$

எனவே, $\triangle PMC \equiv \triangle PNC$

ஆகவே, $PM = PN$

P என்பது A-க்கும் C-க்கும் இடையே உள்ள ஏதோ ஒரு புள்ளியாகும். எனவே. P-க்கு ஒத்துவரும் இவ்வுண்மை A-க்கும் C-க்குமிடையே உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளுக்கும் ஒத்துவரும் எனவே, A-க்கும் C-க்கும் இடையிலுள்ள புள்ளிகளில் இருந்து புறப்பட்ட பின்வரு அலைக்குட்டிகள் எல்லாம் ஒரே நேரத்தில் CE-க்கு வந்து சேரும். ஆகவே, CE என்பது பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைமுகப்பு ஆகும். படு அலைமுகப்பிற்கும், எதிரொளிக்கும் ஆடியின் தளத்திற்குமிடையே உள்ள கோணம் படுகோணமாகும். அஃதாவது $\angle BAC = i$ பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைமுகப்பிற்கும் ஆடியின் தளத்திற்கும் இடையே உள்ள கோணம் எதிரொளிப்புக் கோணம் எனப்படும். அஃதாவது, $\angle ACE = r$ ஆகும்.

$\angle ACE = \angle ACD$ ஆனல் $\angle ACD = \angle BAC$

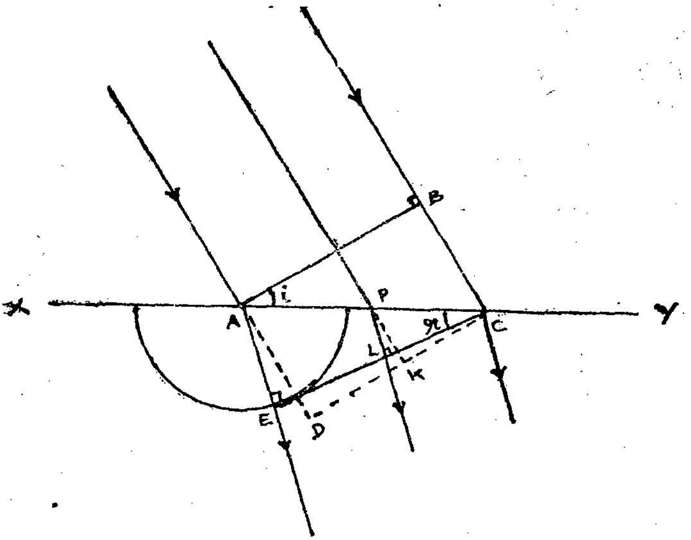
$\therefore \quad \angle BAC = \angle ACE$

$$i = r$$

சமதளப் பரப்பில் சமதள அலைமுகப்பு அடையும் விலகல்

XY என்பது காற்றிலிருந்து μ என்ற ஒளிவிலகல் எண் கொண்ட ஊடகம் ஒன்றைப் பிரிக்கும் தளம் என்போம். அப்பரப்பின் மீது AB என்ற சமதள அலைமுகப்பு i என்ற படுகோணத்தில் விழுகிறது. v மற்றும் v_1 என்பன முறையே, காற்று மற்றும் ஊடகம் இவற்றில் ஒளியின் திசை வேகங்களைக் குறிப்பதாகக்

கொள்வோம். அலைமுகப்பு A என்ற புள்ளியில் முதல் பின்வரு அலைக்குட்டியை எழுப்புகிறது. பின்னர்த் தொடர்ந்து ஒன்றன்பின் ஒன்றாக A-க்கும் C-க்கும் இடையிலுள்ள புள்ளிகளிலிருந்து பின்வரு அலைக்குட்டிகள் எழும்புகின்றன. A-ல் கிளம்பிய அலை AE என்ற தூரம் ஊடகத்தில் செல்லும்போது C-ல் இறுதிப் பின்வரு அலைக்குட்டி எழும்பும் நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஊடகம் இல்லாதிருந்தால் அலைமுகப்பு இந்த நேரத்தில் CD என்ற



படம் 32

நிலைக்கு வந்திருக்கும். அஃதாவது, $BC = AD$ ஆக இருக்கும். எனவே, காற்றில் BC என்ற தூரம் செல்வதற்கான நேரமும் ஊடகத்தில் AE என்ற தூரம் செல்வதற்கான நேரமும் சமமாகும்.

$AE = v_1 \times t$ ஆகும். ஆனால், $t = \frac{BC}{v}$

எனவே, $AE = v_1 \times \frac{BC}{v}$

ஆகவே, C-ல் பின்வரு அலைக்குட்டி துவங்கும் நிலையில் இருக்கையில் A–ல் எழும்பிய பின்வரு அலைக்குட்டியின் இடத்தைக்காண A-ஐ மையமாகவும் AE-ஐ ஆரமாகவும் உடைய வட்டம் வரைய வேண்டும். C-லிருந்து இவ்வட்டத்திற்கு வரையப்படும் தொடு கோடாகிய CE என்பது விலக்க முற்ற அலைமுகப்பினை (refracted

wave front) குறிக்கும். இவ்வலைமுகப்பிற்கு A-க்கும் C-க்கும் இடைப்பட்ட புள்ளிகளிலிருந்து எழும்பிய எல்லாப் பின்வரு அலைக் குட்டிகளும் ஒரே நேரத்தில் வந்து சேரும் என்பதைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம். A-க்கும் C-க்கு மிடையே P என்ற ஏதேனும் ஒரு புள்ளியை எடுத்துக் கொண்டு அதிலிருந்து CE மற்றும் CD ஆகிய வற்றிற்கு முறையே PL மற்றும் PK என்ற குத்துக் கோடுகள் வரைவோம். ஊடகம் இல்லாதிருந்தால் P-ல் தோன்றும் பின்வரு அலைக்குட்டி K-ஐ அடைந்திருக்கும் என்பது வெளிப்படை. ஊடகம் இருக்கும் நிலையில் A-ல் எழும்பிய அலை E-ஐ அடையும் போது P-ல் எழும்பிய அலை L-ஐ அடையும் என்று காட்டுதல் வேண்டும்.

ACD மற்றும் PCK என்ற வடிவொத்த முக்கோணங்களில்,

$$\frac{CP}{CA} = \frac{PK}{AD} \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

CAE மற்றும் CPL என்ற வடிவொத்த முக்கோணங்களில்,

$$\frac{CP}{CA} = \frac{PL}{AE} \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் 1, 2 ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\frac{PK}{AD} = \frac{PL}{AE}$$

அல்லது $$\frac{PK}{PL} = \frac{AD}{AE}$$

$$= \frac{v \times t}{v_1 \times t}$$

$$= \frac{v}{v_1}$$

= மாறிலி ஆகும்.

இதிலிருந்து C-ல் பின்வரு அலைக்குட்டி எழும்பும் நிலையில் இருக்கையில் P-ல் துவங்கிய பின்வரு அலைக்குட்டி L-ஐ அடையும் என அறிகிறோம். இவ்வாறே A-க்கும் C-க்கும் இடைப்பட்ட புள்ளிகளில் எழும் எல்லாப் பின்வரு அலைக்குட்டிகளும் ஒரே நேரத் தில் CE-ஐ அடையும் என்றுணரலாம். எனவே, CE என்பது

விலக்கமுற்ற அலை முகப்பு ஆகும். மேலும் $\lfloor ACE$ என்பது விலக்கமுறு கோணமாகும். $\lfloor BAC$ என்பது படுகோணமாகும்.

$$\mu = \frac{\sin \lfloor BAC}{\sin \lfloor ACE} = \frac{BC}{AC} \div \frac{AE}{AC}$$

$$= \frac{BC}{AE}$$

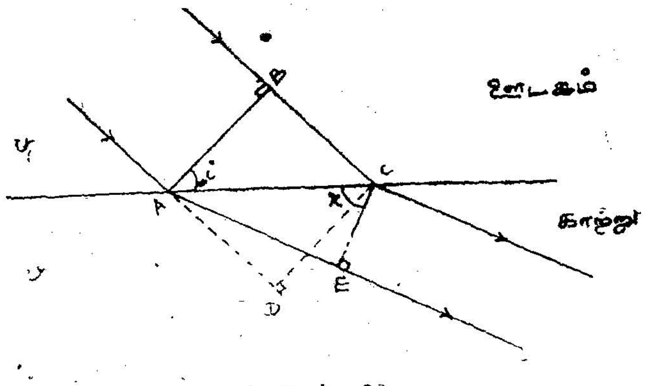
$$= \frac{BC \times v}{BC \times v_1}$$

$$= \frac{v}{v_1}$$

$$= \frac{\text{காற்றில் ஒளியின் திசை வேகம்}}{\text{ஊடகத்தில் ஒளியின் திசை வேகம்}}$$

μ என்பது 1-ஐ விட அதிகம் என அறிவோம். எனவே, $v > v_1$ என்றாகிறது. இவ்வுண்மை ஃபோகால்ட் கண்டறிந்த உண்மைக்கு ஒத்து வருவதைக் காண்கிறோம். எனவே, ஃபோகால்ட் முறை, அலைக் கொள்கைக்கு அசைக்க முடியாத ஒரு துணையாக இருக்கிறது.

அடர்த்தி மிகுந்த ஊடகத்திலிருந்து அடர்த்தி குறைவான ஊடகத்திற்கு ஒளி செல்லும் நிகழ்ச்சியைப் பின்வரும் படம் விளக்குகிறது. இதில் AE என்பது BC-ஐ விட அதிகமாய்



படம் 33

இருக்கும், AB என்பது படு அலைமுகப்பாகும். CE என்பது விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பாகும்.

$$\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \frac{BC}{AC} \div \frac{AE}{AC}$$

$$= \frac{BC}{AE} \text{ ஆனால் } BC = \frac{AE}{v} \times v_1$$

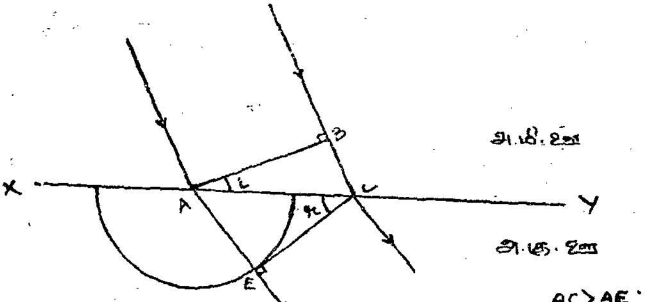
$$= \frac{AE \times v_1}{AE \times v}$$

$$= \frac{v_1}{v} = \frac{1}{\mu}$$

மாறுநிலைக் கோணம்

(Critical Angle)

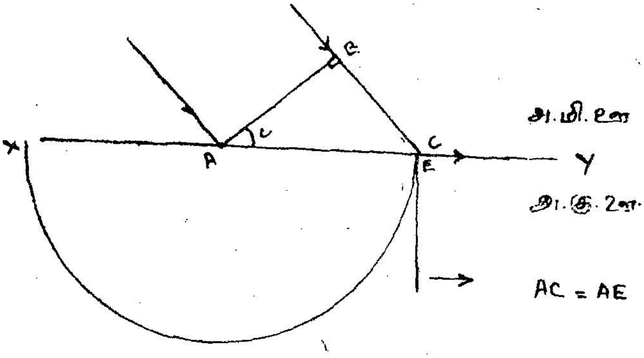
அடர்த்தி மிகுந்த ஓர் ஊடகத்திலிருந்து ஒளி அடர்த்தி குறைந்த ஓர் ஊடகத்தினுள் செல்லும்போது படுகோணம் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்புக்குக் குறைவாக இருக்கும்போது மட்டுமே விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு கிடைக்கும் என்பதைப் பின்வரும் படங்கள் காட்டுகின்றன. படங்களில் *AE*-ன் மதிப்பு *AC*-க்குக் குறைவாக இருக்கும் வரையில் விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு கிடைப்பதையும், *AE*-ன் நீளம் *AC*-ன் நீளத்திற்குச் சமமாக இருக்கையில் விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு, பிரிக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக நகர்வதையும், *AE* ன் நீளம் *AC* ஐ விட அதிகமாகும்போது அலைமுகப்பு வரைய முடியாத நிலை ஏற்படுவதையும் படங்கள் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன.



படம் 34–i

படம் (i)-ல்,

AB என்ற படு அலைமுகப்பிற்கு *CE* என்னும் விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு உண்டாகிறது. படுகோணத்தைவிட விலக்கமுற்ற கோணம் பெரிதாக இருப்பதையும் அறிகிறோம்.



படம் 34-ii

படம் (ii)-ல்,

AB என்ற படு அலை முகப்பிற்கு *CE* என்னும் விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு ஏற்படுகிறது. இவ்வலைமுகப்பு பிரிக்கும் தளத்திற்கு இணையாக நகர்வதைக் காண்கிறோம், இந் நிலையில் அடர்த்தி மிகு ஊடகத்தில் உள்ள படுகோணம் அவ் ஊடகத்தின் மாறுதானக் கோணம் எனப்படும் r-ன் மதிப்பு 90° ஆகும்.

ஒளி ஊடகத்திலிருந்து காற்றுக்குச் செல்வதால்,

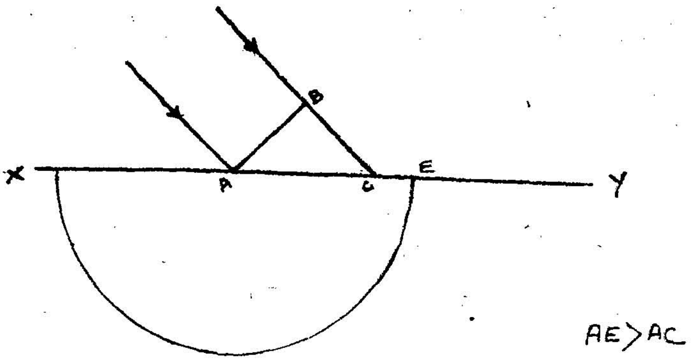
$$\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \frac{1}{\mu} \qquad \text{மேலும், } i = c, \; r = 90^\circ$$

எனவே,

$$\frac{\text{Sin } c}{\text{Sin } 90^\circ} = \frac{1}{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{Sin } c}$$

இங்கு μ என்பது அடர்த்தி மிக்க ஊடகத்தின் ஒளி விலகல் எண் ஆகும்.



படம் 34–iii

படம் (iii)- விலக்கமுற்ற அலை முகப்பு வரைய வாய்ப்பு இல்லை என்பதைக் காட்டுகிறது.

8. ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு
(Interference of light)

அலைகளை ஒன்றின்மீது ஒன்றாக ஏற்றுதல்
(Superposition of waves)

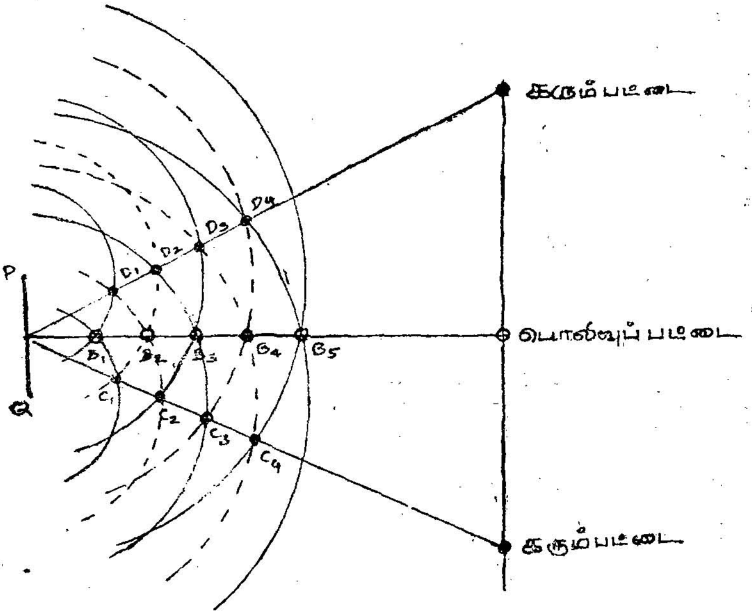
ஒரே அலை நீளமுடைய இரு அலைத்தொடர்களைத் தொடர்ந்து பரந்திருக்கும் ஓர் ஊடகப் பரப்பில் ஒன்றின்மீது மற்றொன்றாக ஏற்றினால் அவை ஒவ்வொன்றும் தனித்து இயங்குவது போன்று செயல்படும். ஊடகத்தின் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சியின் அளவு அவ்வலைகள் ஒவ்வொன்றும் தனித்தனியே தருகின்ற இடப்பெயர்ச்சிகளின் எண்ணியல் தொகைக்கு (algebraic sum) சமமாகும். அவ்வலைகளின் வீச்சுகளும் சமமாக இருப்பின் அவ்வலைகளின் முகடுகளோ அல்லது அகடுகளோ (crests or troughs) அவ் வூடகத்தின் எந்த ஒரு புள்ளியில் சந்தித்தாலும் அவ்விடத்தில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி பெரும அளவு (maximum) உடையதாக இருக்கும். இது ஆக்கக் குறுக்கீடு (constructive interference) எனப்படும். ஓர் அலையின் முகடு மற்றொரு அலையின் அகட்டைச் சந்தித்தால் அப் புள்ளியில் ஏற்படும் விளைவு இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். இத்தகைய குறுக்கீடு அழிவுக் குறுக்கீடு (destructive interference) எனப்படும்.

விசையியல் எடுத்துக்காட்டு

பரந்திருக்கும் நீர்ப்பரப்பில் P மற்றும் Q என்ற இடங்களில் ஒரே வீச்சும், அலை நீளமும் கொண்ட ஒரே திசை வேகத்துடன் செல்லும் அலைத் தொடர்களை உண்டாக்குவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இவ்வலைகளைப் பல ஒருமைய வட்டங்களைக் கொண்டு குறிக்கலாம் படத்தில் புள்ளிக் கோட்டால் குறிக்கப் பட்டிருப்பவை அலையின் அகடுகளையும், மெல்லிய கோட்டால் குறிக்கப்பட்டிருப்பவை அலையின் முகடுகளையும் குறிக்கின்றன. ஒன்றின் முகட்டை மற்றதன் முகடு சந்திக்கும் புள்ளிகளிலும்,

ஒன்றின் அகட்டை மற்றதன் அகடு சந்திக்கும் இடங்களிலும் அவ் வலைகளின் இடப் பெயர்ச்சிகள் ஒரு திசையுடையனவாக இருப்ப தால் ஒன்றுக்கொன்று உதவி செய்கின்றன. எனவே அவ்விடங் களில் பெரும இடப்பெயர்ச்சி உண்டாகிறது. ஆனால் ஒன்றன் முகடு மற்றதன் அகட்டைச் சந்தித்தால் அகட்டின் இடப்பெயர்ச்சி கீழ் நோக்கியும், முகட்டின் இடப்பெயர்ச்சி மேல் நோக்கியும் இருப்பதால் அவ்விடத்தில் விளைவு இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகி விடுகிறது. எனவே, நீர்ப்பரப்பில் அசைவற்ற நீர்ப்பரப்புப் பகுதி களும், மிகுந்த இடப்பெயர்ச்சியுற்ற நீர்ப்பரப்புப் பகுதிகளும் மாறி மாறி காணப்படும்,

இதே போன்று ஒரே அலை நீளமும், வீச்சும், நிலையும் கொண்ட ஒளியைத் தருகின்ற இரு ஒளித் தோற்றுவாய்கள் அருகருகே அமைந்து ஒளி அலைகளைப் பரப்பிக் கொண்டிருந்தால்



படம் 35

அம் மூலத்திற்கு எதிரே வைக்கப்பட்டிருக்கும் திரையில் ஒளிச் செறிவு மிக்க பகுதிகளும் ஒளிச் செறிவு குறைந்த பகுதிகளும் ஒன்றை அடுத்து ஒன்றாகக் காட்சி தரும். இத்தகைய அமைப்பு குறுக்கீட்டுப் பாங்கு (interference pattern) எனப்படும். மேலே உள்ள படத்தில் ⊙ குறியிட்ட இடங்களில் ஆக்கக் குறுக்கீடும்,

குறியிட்ட இடங்களில் அழிவுக் குறுக்கீடும் ஏற்படுவதைப் பாருங்கள்.

ஒளி அலைகளின் குறுக்கீடு

P மற்றும் Q என்பன இரு ஓரியல் ஒளி மூலங்கள் (coherent sources) என்போம். அடுத்தடுத்துள்ள முகடுகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் அலை நீளம் λ ஆகும். ஒரு முகட்டிற்கும் அதற்கு அடுத்த அகட்டிற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். ஒளியலைகளின் வீச்சு 'a' என்போம். B_1 என்ற இடத்தில் P-ன் முதல் முகடும் Q-ன் முதல் முகடும் சந்திக்கின்றன. அவை இரண்டும் கடந்த தூரம் சமமாகும். எனவே அவற்றிற்கிடையே பாதை வேறுபாடு (path difference) சுழியாகும். அப் புள்ளியில் ஆக்கக் குறுக்கீடு நிகழ்வதால் விளைவு இடப் பெயர்ச்சி $2a$ ஆகிறது. எனவே அவ்விடத்தின் செறிவு $4a^2$ ஆகும். இவ்வாறே B_2, B_3, B_4 ......என்ற புள்ளிகளிலும் ஆக்கக் குறுக்கீடு நிகழ்வதுடன் குறுக்கிடும் அலைகளுக்கிடையே பாதை வேறுபாடும் இல்லை. மேலும் இப்புள்ளிகளெல்லாம் ஒரே நேர்க்கோட்டில் அமைந்திருப்பதையும் காணலாம். எனவே, இக்கோட்டிற்கு நேரே திரையில் பெருமச் செறிவுடைய பொலிவுப் பட்டை ஒன்று காணப்படும். D_1 என்ற இடத்தில் P-ன் முதல் முகடும் Q-ன் முதல் அகடும் குறுக்கிடுகின்றன. அவை கடந்து வந்த பாதை நீளம் வேறுபடுவதைப் பார்க்கலாம். முகடு $\frac{\lambda}{2}$ தூரமும் அகடு λ தூரமும் கடந்து வந்திருப்பதால் அவற்றிற்கிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். அப் புள்ளியில் அழிவுக் குறுக்கீடு நிகழ்வதால் விளைவு இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகிறது எனவே செறிவும் சுழியாகும். இவ்வாறே அதே கோட்டிலுள்ள குறுக்கீட்டுப் புள்ளிகளில் எல்லாம் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருப்பதையும், விளைவு இடப் பெயர்ச்சி சுழியாவதையும், அதனால் செறிவும் சுழியாவதையும் உணரலாம். இதே போன்று D_1, D_2, D_3......ஆகிய புள்ளிகளில் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ என்றும், அவைகளில் விளைவு இடப் பெயர்ச்சி சுழியாகும் என்றும், ஆகவே, செறிவும் சுழியாகும் என்றும் உணரலாம். C_1, C_2, C_3 ...என்பனவும், D_1 D_2 D_3...... என்பனவும் நேர்க்கோடுகளில் அமைந்திருப்பதைக் காணலாம்.

அந்நேர்க்கோடுகளுக்கு எதிரே திரையில் செறிவற்ற கரும்பட்டைகள் தோன்றும்.

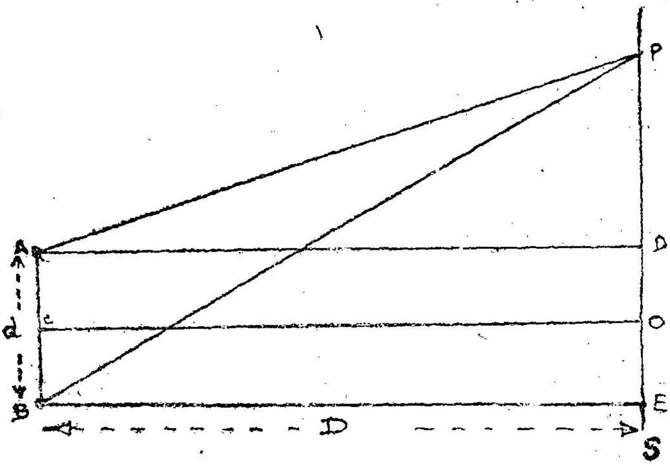
E_1 என்ற இடத்தில் P என்ற தோற்றுவாயின் முதல் அகடும், Q என்ற தோற்றுவாயின் இரண்டாவது அகடும் சந்திக்கின்றன. முதல் அலை கடந்த தூரம் λ ஆகும் இரண்டாவது அலை கடந்த தூரம் 2λ ஆகும். எனவே பாதை வேறுபாடு λ ஆகும். இங்கு நிகழ்வது ஆக்கக் குறுக்கீடாகும். எனவே, விளைவு இடப் பெயர்ச்சி $2a$ ஆகவும் செறிவு $4a^2$ ஆகவும் இருக்கும். இதே உண்மை E_2, E_3, E_4......என்ற புள்ளிகளில் நிகழும் குறுக்கீட்டிற்கும் பொருந்தும். எனவே, இப்புள்ளிகள் அமைந்துள்ள நேர்க் கோட்டிற்கு எதிரே திரையில் பெருமச் செறிவுள்ள பொலிவுப் பட்டை ஒன்று தோன்றும்.

இதே போன்று F_1, F_2, F_3......ஆகிய புள்ளிகளில் நிகழும் குறுக்கீட்டில் பாதை வேறுபாடு λ ஆகவும் இடப்பெயர்ச்சி $2a$ ஆகவும் செறிவு $4a^2$ ஆகவும் அமைந்திருப்பதையும், அதனால் F_1, F_2, F_3......ஆகிய புள்ளிகள் அமைந்துள்ள நேர்க்கோட்டிற்கு எதிரே திரையில் செறிவு மிக்க ஒளிவரி தோன்றும் என்பதையும் அறியலாம்.

மேற்கண்டவற்றைச் சுருங்கக் கூறின் குறுக்கிடும் அலைகளுக்கிடையே ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு O, λ, 2λ, 3λ...... ஆக (அஃதாவது $\frac{\lambda}{2}$ ன் இரட்டைப்படை எண் பெருக்குத் தொகையாக) இருக்கையில் ஆக்கக் குறுக்கீடு நிகழ்வதால் அவ்விடங்களுக்கு எதிரே செறிவு மிக்க ஒளி வரிகளும், குறுக்கிடும் அலைகளுக்கிடையே ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, $\frac{7\lambda}{2}$........போன்று ($\frac{\lambda}{2}$ ன் ஒற்றைப்படை எண் பெருக்குத் தொகையாக) அமைந்திருந்தால் அழிவுக் குறுக்கீடு நிகழ்வதால் அவ்விடங்களுக்கு எதிரே செறிவற்ற இருள் வரிகளும் உண்டாகும். இவ்வாறு தோன்றும் பொலிவும், கருமையும் உடைய பட்டைகள் குறுக்கீட்டுப் பட்டைகள் அல்லது **குறுக்கீட்டு வரிகள் (interference fringes)** எனப்படும். மாறி மாறி அமைந்துள்ள ஒளிவரிகளும் இருள் வரிகளும் கொண்ட இவ்வமைப்பு **குறுக்கீட்டுப் பாங்கு (interference pattern)** என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

எங் செய்த சோதனை : (Young's Experiment)

எங் என்ற விஞ்ஞானி முதன் முதலில் ஒளியின் குறுக்கீட்டு வரிகளைப் பெறும் முயற்சியில் ஈடுபட்டார். **ஒற்றை வண்ண மூலம்** (monochromatic source) ஒன்றினால் ஒளியூட்டப்பட்ட, அருகருகே அமைந்த இரு மெல்லிய இணைப் பிளவுகளை (slits) அவர் ஓரியல் மூலங்களாக அமைத்துக் கொண்டார். அப் பிளவுகள் வழியே வெளிவந்த ஒளி அலைகள் ஒன்றை ஒன்று குறுக்கிட்டு அவற்றிற்கு எதிரே வைக்கப்பட்ட திரையில் குறுக்கீட்டு வரிகளை உண்டாக்கின.



படம் 36

A, B என்பன சம அளவு அலைநீளமும், வீச்சும், நிலையும் கொண்ட ஒளி அலைகளை உண்டாக்கும் மூலங்கள் எனக் கொள்வோம். இவ்விரு மூலங்களுக்கும் இடையே உள்ள தூரம் d செ. மீ. என்போம், மூலங்களிலிருந்து D செ. மீ. தூரத்தில் S என்ற திரை வைக்கப்பட்டுருக்கிறது. C என்பது AB-யின் நடுப்புள்ளி. D, O, E என்பன முறையே A, C, B என்ற புள்ளிகளிலிருந்து திரைக்கு வரையப்பட்ட குத்துக்கோடுகளின் பாதங்கள் (அடிப்புள்ளிகள்). O-விலிருந்து x செ. மீ. தூரத்திலுள்ள P என்ற புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம்.

APD என்ற செங்கோண முக்கோணத்தில்,

$$AP^2 = AD^2 + DP^2$$

$$= D^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2$$

BPE என்ற செங்கோண முக்கோணத்தில்,

$$BP^2 = BE^2 + EP^2$$

$$= D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

எனவே, $BP^2 - AP^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$

$$= 2x\,d$$

$$(BP + AP)\,(BP - AP) = 2x\,d$$

A மற்றும் B என்பன ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில் இருப்பதாலும், P, O-விலிருந்து மிக அருகில் இருப்பதாலும் D என்பது இத் தூரங்களுடன் ஒப்பிடுகையில் மிக நீளமானது என்பதாலும் $BP + AP = 2D$ எனலாம்.

ஆகவே, $(BP - AP) = \frac{2x\,d}{2D}$

$$= \frac{x\,d}{D}$$

$BP - AP$ என்பது குறுக்கிடும் இரு அலைகளுக்கு இடையே P என்ற புள்ளியில் காணப்படும் பாதை வேறுபாடு (path difference) ஆகும். இதனை δ என்ற எழுத்தால் குறிக்கிறோம்.

$$\therefore\ \delta = \frac{x\,d}{D}$$

இப்பாதை வேறுபாடு $2n\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருப்பின் P என்ற புள்ளியில் ஒளிவரியும், $(2n - 1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருப்பின் இருள் வரியும் தோன்றும். இங்கு n என்பது ஒரு முழு எண் ஆகும். இதைப் பட்டைகளின் வரிசை எண் (order) என்பர்.

மேலும், $x = \frac{D\delta}{d}$ எனவே, O என்ற மையப் புள்ளியிலிருந்து n^{th} ஒளி வரியின் தூரம்,

$$x_n = \frac{D}{d} n\lambda \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1)$$

இவ்வாறே O–விலிருந்து n^{th} இருள் வரியின் தூரம்,

$$x_n = \frac{D}{d}(2n-1)\frac{\lambda}{2} \text{ ஆகும் } \ldots \qquad (2)$$

பட்டைகளின் அகலம் (Band width)

n^{th} ஒளி வரியின் தூரம் $= \frac{D}{d} n\lambda$

$(n-1)^{th}$ ஒளி வரியின் தூரம் $= \frac{D}{d}(n-1)\lambda$

எனவே, வரியின் அகலம் $\beta = \frac{D}{d} n\lambda - \frac{D}{d}(n-1)\lambda$

$$\beta = \frac{D}{d}\lambda$$

இச் சமன்பாட்டின் உறுப்புகள் எல்லாம் மாறிலிகள் ஆகையால் குறுக்கீட்டு வரிகள் எல்லாம் ஒரே அகலமுடையவை என்றாகிறது.

இவ்வாறே இருள்வரிகளின் அகலமும் காணலாம்.

n^{th} இருள் வரியின் தூரம் $= \frac{D}{d}(2n-1)\frac{\lambda}{2}$

$(n-1)^{th}$ இருள் வரியின் தூரம் $= \frac{D}{d}\left[2(n-1)-1\right]\frac{\lambda}{2}$

$$= \frac{D}{d}(2n-3)\frac{\lambda}{2}$$

எனவே, இருள் வரியின் அகலம் $\beta = \frac{D\lambda}{2d}\left[(2n-1)-(2n-3)\right]$

$$= \frac{D\lambda}{d}$$

எனவே, ஒளிக் குறுக்கீட்டினால் ஏற்படும் ஒளிவரிகளானாலும் இருள் வரிகளானாலும் அவை ஒரே அகலமுடையவை ஆகும்.

தெளிவான, அகலமான குறுக்கீட்டுப் பட்டைகளைப் பெற

(1) குறுக்கிடும் அலைகளைத் தருகின்ற மூலங்கள் இரண்டும் முற்றிலும் ஓரியல்பு உடையனவாக இருத்தல் வேண்டும்.

(2) இரு மூலங்களும் ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருங்கியிருக்க வேண்டும். ஏனெனில் d எவ்வளவிற்கு எவ்வளவு சிறியதாக இருக்கிறதோ அவ்வளவிற்கு அவ்வளவு β பெரிதாக இருக்கும்.

(3) திரை மூலத்திலிருந்து எவ்வளவு தொலைவில் இருக்கிறதோ அவ்வளவிற்கு β பெரிதாக இருக்கும். ஆனால் மிகத் தொலைவில் செல்லச் செல்ல வரிகளின் தோற்றப் பொலிவு குறையும்.

ஃப்ரனல் செய்த இரட்டை முப்பட்டக முறை
(Fresnel's Biprism method)

ஃப்ரனல் ABC என்ற ஓர் இரட்டை முப்பட்டகத்தை (Biprism) பயன்படுத்தி S என்ற ஓர் உண்மைத் தோற்றுவாயின் இரு மாய பிம்பங்களை உண்டாக்கினார். அம் மாய பிம்பங்கள் இரு ஓரியல் மூலங்களாகச் செயற்பட்டுக் குறுக்கீட்டு விளைவினை உண்டாக்கின. அவ்விரட்டை முப்பட்டகத்தின் A என்ற கோணம் ஏறக்குறைய 180° இருந்தது.

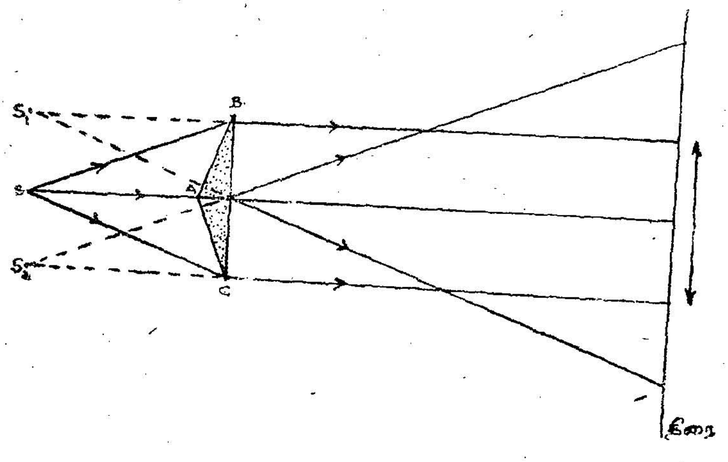
S என்ற உண்மை மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி இரட்டை முப்பட்டகத்தின் மேற்பகுதியாகிய BAD என்பதில் விலக்கமுற்று S_1 என்ற மாய பிம்பத்தையும், கீழ்ப்பகுதியாகிய CAD என்பதில் விலக்கமுற்று S_2 என்ற மாய பிம்பத்தையும் தருகிறது. இவ்வாறு S என்ற ஒரு தோற்றுவாயிலிருந்து S_1, S_2 என்னுமிரு ஓரியல் மாய மூலங்கள் உண்டாகின்றன. முப்பட்டகத்தின் B, C-ல் உள்ள கோணங்கள் மிக மிகச் சிறியவை ஆதலால் S_1 S_2க்கு இடையே உள்ள தூரம் மிகவும் குறைவாக இருக்கும்.

ஒளியியல் அளவுச் சட்டம் (optic bench) ஒன்றில் நீளவாட்டிலும், பக்கவாட்டிலும் நகரக்கூடிய செங்குத்தான தாங்கிகள் அமைந்துள்ளன. ஒவ்வொரு தாங்கியிலும் அளவுகோலின் மீது நகர்ந்து செல்லக் கூடிய ஒரு குறிமுள் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. சோடியம் ஆவி விளக்கு ஒரு வண்ண ஒளி தரும் மூலமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது சோடியம் ஆவி விளக்கிற்கு முன்னே செங்குத்தான மெல்லிய பிளவுடைய அமைப்பு ஒன்று தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. பிளவின் அகலத்தைக் கூட்டவோ குறைக்கவோ செய்ய திருகு ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கும். பிளவுக்கு முன்னால் இரட்டை முப்பட்டகத்தை ஒரு தாங்கியில் பொருத்த வேண்டும். முப்பட்டகத்தின் விளிம்பு பிளவுக்கு இணையாக இருக்க வேண்டும். முப்பட்டகத்தின் நிலையைச் சீர் செய்து இரு

மாய பிம்பங்கள் கிடைக்குமாறு செய்யவேண்டும். இன்னொரு தாங்கியில் கண்ணருகு வில்லை அமைப்பு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதில் துல்லியமாக அளவிடுவதற்கேற்ற திருகுமானி அமைப்பு உண்டு. இவ்வமைப்பினுள் குறுக்கிழைகள் இருக்குமிடத்தில் குறிமுள் ஒன்று இருக்கும். மேலும் தாங்கியோடு இதை ஒளியியல் அளவுச் சட்டத்திற்குக் குறுக்காக நகர்த்தலாம்.

முதலில் பிளவினை ஓரளவு அகலமாக வைத்துக் கொண்டு இரு மாய மூலங்களைப் பெற வேண்டும். பின்னர் பிளவு, இரட்டை முப்பட்டகம், கண்ணருகு வில்லை அமைப்பு ஆகியவை சோடியம் ஆவி விளக்குடன் ஒரு கிடையட்ட நேர்க்கோட்டில் இருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். கண்ணருகு வில்லை வழியாகப் பார்த்தால் பார்வைப் புலத்தில் அகலமான மஞ்சள் நிற வரி தெரியும். இப்போது பிளவின் அகலத்தைச் சிறிது சிறிதாகக் குறைத்தால் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றாக அமைந்துள்ள இருள் வரிகளும், ஒளி வரிகளும் தோன்றும். பிளவின் நீளம் இரட்டை முப்பட்டகத்தின் விளிம்பிற்கு நன்கு இணையாக இருக்குமாறு சீர் செய்தால் தெளிவான, கூரிய குறுக்கீட்டு வரிகளைப் பெறலாம்.

கண்ணருகு வில்லை அமைப்பினை இரட்டை முப்பட்டகத்திலிருந்து வெகு தொலைவில் அமைத்து அகலம் மிக்க குறுக்கீட்டு வரிகளைப் பெறலாம். திருகுமானியைக் கொண்டு குறிப்பிட்ட



படம் 37

எண்ணிக்கை கொண்ட குறுக்கீட்டு வரிகளின் மொத்த அகலத்தை அளவிட்டு அதிலிருந்து அவ்விடத்தில் உள்ள ஒரு

குறுக்கீட்டு வரியின் அகலத்தைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு கணக்கிட்ட வரியின் அகலம் β_1 என்போம். $S_1 S_2 = d$ என்றும் மூலங்களுக்கும், கண்ணருகு வில்லை அமைப்பிற்கும் உள்ள தூரம் D_1 என்றும் கொண்டால்,

$$\beta_1 = \frac{D_1 \lambda}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

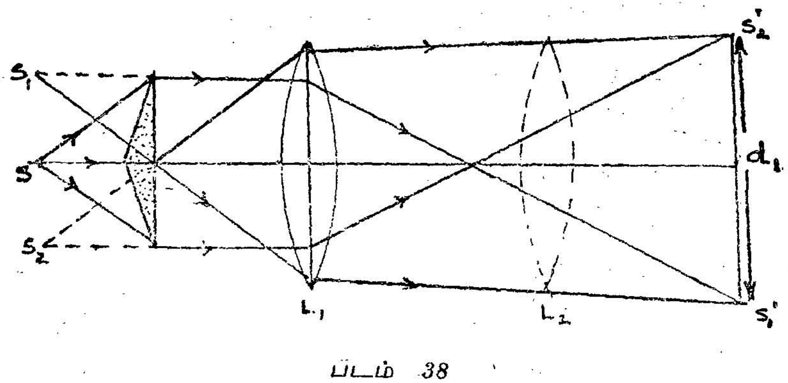
மாய மூலங்கள் இருக்குமிடம் அறியமுடியாதாகையால் D_1-ஐ அளவிட முடியாது. எனவே பின்வரும் முறை கையாளப் படுகிறது. β_1-ஐ அளவிட்ட இடத்திலிருந்து கண்ணருகு வில்லை பொருத்தப்பட்ட தாங்கியை மட்டும் சரியாக x செ. மீ. பின்னுக்கு நகர்த்திச் சென்று அவ்விடத்தில் காணப்படும் குறுக்கீட்டு வரிகளின் அகலத்தை அளவிடுகிறோம். அவ்வாறு அளவிட்ட வரி அகலம் β_2 என்போம்.

$$\beta_2 = \frac{(D_1 + x)\lambda}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் 1, 2 ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\beta_2 - \beta_1 = \frac{x \lambda}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

d என்பது S_1, S_2 என்ற மாய மூலங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரமாகும். இதனைப் பின்வருமாறு அளவிடலாம். இரட்டை முப்பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகு வில்லை அமைப்பிற்கும் இடையில்



படம் 38

ஓர் இருபுற குவி வில்லையை வைத்து இரட்டை முப்பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகு வில்லை அமைப்பிற்கும் இடையிலுள்ள

தூரத்தை வில்லையின் 4f-ஐ விட அதிகமாக இருக்கும்படி செய்கிறோம். வில்லையை முன்னே பின்னே நகர்த்தி அம் மாய மூலங்களின் தெளிவான பிம்பங்களைக் கண்ணருகு வில்லையின் பார்வைப் புலத்தில் பெறுகிறோம். இப்போது அவ்விரு பிம்பங்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தைத் திருகுமானி கொண்டு அளவிடுகிறோம். அத் தூரம் d_1 எனபோம். பின் வில்லையைப் பரிமாற்று நிலைக்கு (conjugate position) நகர்த்தி மறுபடியும் அம் மாய மூலங்களின் தெளிவான பிம்பங்களைப் பெறுகிறோம். இப்போது அப் பிம்பங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் d_2 எனபோம்.

பரிமாற்ற நிலையில்:

$$\frac{u}{v} = \frac{d}{d_1} = \frac{d_2}{d} \text{ என்றறிவோம்.}$$

எனவே,

$$d^2 = d_1 d_2$$

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \text{ ஆகும்.}$$

d-ன் மதிப்பினைச் சமன்பாடு 3-ல் பதிலீடு செய்ய,

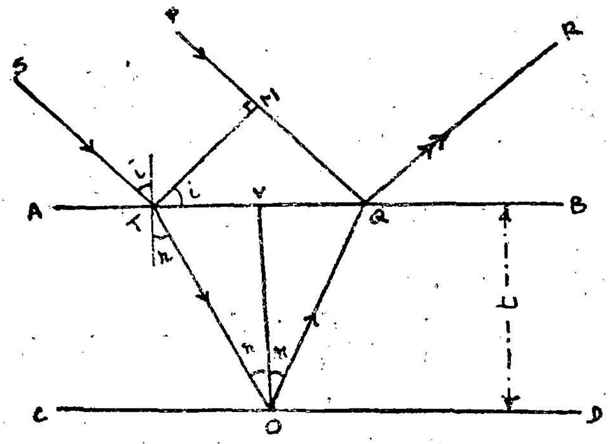
$$\beta_2 - \beta_1 = \frac{x\lambda}{\sqrt{d_1 d_2}}$$

$$\lambda = \frac{(\beta_2 - \beta_1)\sqrt{d_1 d_2}}{x} \text{ ஆகும்.}$$

மென் தகடுகளின் வண்ணங்கள்
(Colours of thin films)

1 செ. மீ. தடிப்பு கொண்ட ஒளி புகும் மென்தகடு ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். AB, CD என்பன அத் தகட்டின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தில் காணப்படும் இணைத்தளங்களைக் குறிக்கின்றன. PQ என்ற படுகதிர் AB என்ற மேல் தளத்தில் பட்டுப் பிரதிபலித்து QR வழியே செல்கிறது. அதே ஒளி மூலத்திலிருந்து கிளம்பிய மற்றொரு ஒளிக்கதிர் ST என்பது AB என்ற தளத்தில் விலக்கமடைந்து TO என்ற பாதையில் சென்று மென் தகட்டின் அடித்தளத்தில் பிரதிபலிக்கப்பட்டு OQ என்ற பாதை வழியே Q-ஐ அடைகிறது. AB, CD ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருப்பதாலும் PQ, ST என்ற படுகதிர்களும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருப்பதாலும் O-விருந்து Qஐ அடைந்த ஒளிக்கதிர் QR என்ற பாதையில்

செல்லும். அவ்விரு ஒளிக்கதிர்களும் ஒரே மூலத்திலிருந்து வெளி வருவதாலும் QR என்ற பாதையில் ஒன்றின்மீது ஒன்று ஏற்றப்



படம் 39

படுவதாலும் குறுக்கீடு நிகழ்கிறது. இங்கு நாம் ஒளிக்கதிர் என்று குறிப்பிட்டபோதிலும் அஃது அலைமுகப்பு ஊர்ந்து செல்லும் திசையைத்தான் குறிக்கிறது என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

Q-ல் குறுக்கிடும் அலைகளுக்கு இடையே உண்டாகும் பாதை வேறுபாட்டைப் பொருத்து Q என்ற புள்ளியில் ஒளிவரியோ இருள்வரியோ தோன்றும். i என்பது படுகோணம் என்றும் r என்பது விலக்கக் கோணம் என்றும் கொள்வோம். TM என்பது PQ-க்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு.

இரு அலைகளுக்குமிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு

$\delta =$ ஊடகத்தில் $(TO + OQ)$ — காற்றில் MQ,

$= (TO + OQ)\,\mu - MQ.$

[குறிப்பு: ஒளி ஊடகத்தில் x செ. மீ. செல்லுகின்ற அதே நேரத்தில் காற்றில் μx தூரம் செல்லும். ஏனெனின்,

$$\mu = \frac{\text{காற்றில் ஒளியின் வேகம்}}{\text{ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகம்}} \Bigg]$$

மேலும், $TO = OQ = \frac{t}{\cos r}$

ஆகவே, $\delta = \frac{2t}{\cos r}\mu - TQ \sin i$

$= \frac{2\mu t}{\cos r} - 2\, TV \cdot \sin i \quad \because TV = VQ$

$= \frac{2\mu t}{\cos r} - 2t \tan r \cdot \frac{\sin i}{\sin r} \times \sin r$

$= \frac{2\mu t}{\cos r} - 2\mu t \cdot \frac{\sin r}{\cos r} \sin r$

$= \frac{2\mu t}{\cos r}\left(1 - \sin^2 r\right)$

$= \frac{2\mu t}{\cos r} \times \cos^2 r$

$= 2\mu t \cos r$

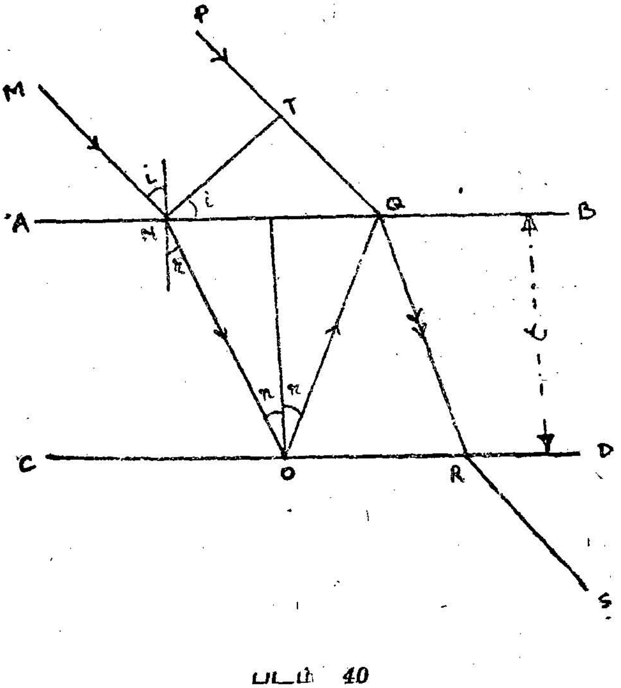
இந்தப் பாதை வேறுபாட்டுடன் Q மற்றும் O என்ற இடங்களில் மாறுபட்ட நிலைகளில் — அஃதாவது Q-ல் ஒளி அடர்த்தி குறைந்த ஊடகத்திலிருந்து அடர்த்தி மிக்க ஊடகத்திற்குச் செல்ல முற்படும்போது உண்டாகும் எதிரொளிப்பு, மற்றும் O-ல் ஒளி அடர்த்தி மிக்க ஊடகத்திலிருந்து அடர்த்தி குறைந்த ஊடகத்திற்குச் செல்ல முற்படுகையில் உண்டாகும் எதிரொளிப்பு ஆகியவை மாறுபட்ட நிலைகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகள் எனப்படுகின்றன. இதன் காரணமாக $\frac{\lambda}{2}$ அளவுடைய கூடுதல் பாதை வேறுபாடு உண்டாகிறது. எனவே, மொத்த பாதை வேறுபாடு $= 2\mu t \cos r + \frac{\lambda}{2}$ ஆகும்.

இப்பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$-ன் இரட்டைப்படை எண் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாக இருப்பின் ஒளி வரிகள் தோன்றும்; அஃதாவது, $2\mu t \cos r + \frac{\lambda}{2} = 2n \frac{\lambda}{2}$ ஆயின் ஒளி வரி தோன்றும்.

இவ்வாறே $2\mu t \cos r + \frac{\lambda}{2} = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருப்பின் இருள் வரி தோன்றும். அஃதாவது, $2\mu t \cos r = 2n\frac{\lambda}{2} = n\lambda$ ஆக இருப்பின் இருள் வரி தோன்றும்.

மென் தகட்டை ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளியின் குறுக்கீடு
(Interference of transmitted light)

மேற்கண்டவாறே AB மற்றும் CD என்பன t செ. மீ. தடிப்பு கொண்ட மென் தகட்டின் மேல் தளத்தையும் அடிதளத்தையும் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். PQ என்ற திசையில் செல்லும் ஒளிக்கதிர் Q-ல் விலக்கமுற்று QR என்ற பாதையில் சென்று மறுபடியும் R-ல் விலக்கமுற்று RS என்ற பாதையில் வெளியேறுகிறது. அதே மூலத்திலிருந்து கிளம்பும் MN என்ற மற்றொரு



படம் 40

ஒளிக்கதிர் N-விலக்கமுற்று NO என்ற பாதையில் சென்று அடித்தளத்தில் O என்ற புள்ளியில் எதிரொளிக்கப்பட்டு OQ

என்ற பாதையில் சென்று Q–வில் மறுபடியும் மேல் தளத்தினால் எதிரொளிக்கப்பட்டு முதற்கதிரின் மேல் ஏற்றப்படுகிறது.

இவ்விரு ஒளி அலைகளுக்குமிடையே ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு,

$$\delta = \text{ஊடகத்தில்} \ (NO + OQ) - \text{காற்றில்} \ TQ$$
$$= 2 \ NO \ \mu - TQ$$
$$= 2 \ \mu \ t \cos r$$

இங்கு நடைபெறும் இரு எதிரொளிப்புகளும் ஒத்த நிலையில் (ஒளி ஊடகத்திலிருந்து காற்றுக்குப் போக முயலும்போது) நிகழ்வன ஆதலால் கூடுதல் பாதை வேறுபாட்டிற்கு வழியில்லை. எனவே, மொத்த பாதை வேறுபாடு $2 \mu t \cos r$ மட்டுமே ஆகும்.

எனவே, $2 \mu t \cos r = 2n \frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்கையில் ஒளி வரியும், $2 \mu t \cos r = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்கையில் இருள் வரியும் தோன்றும்.

குறிப்பு : எதிரொளிப்புக் கதிருடன் குறுக்கீடு நிகழும்போது ஒளி வரி தோன்றுவதற்கான நிபந்தனை (condition), ஊடுருவிச் செல்லும் கதிரில் குறுக்கீடு நிகழும்போது இருள் வரிக்கான நிபந்தனையாக அமைந்திருப்பதையும், அவ்வாறே அங்கு இருள் வரிக்கான நிபந்தனை இங்கு ஒளி வரிக்கான நிபந்தனையாக அமைந்திருப்பதையும் நினைவில் வைக்கவும்.

தொடர்ந்து பரவிக் கொண்டிருக்கும் மென் தகட்டை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளியில் காணல்

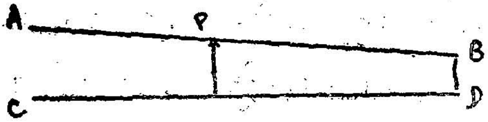
நீர்ப் பரப்பில் பெட்ரோல் அல்லது எண்ணெய் போன்றவற்றைத் தெளித்தால் அவை தொடர்ந்து பரவிச் செல்வதையும் அப்போது அதன் பரப்பில் ஒன்றன் பின் ஒன்றாகப் பல வண்ணங்கள் தோன்றி மறைவதையும் கண்டிருக்கிறோம். இந் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு நிகழ்கிறது ?

பரவிச் செல்லும் எண்ணெய்த் தகட்டின் தடிப்பு குறிப்பிட்ட ஒரு நேரத்தில் t செ. மீ. என்போம். இப்போதுள்ள பாதை வேறுபாடு $2 \mu t \cos r$ என்பது சிவப்பு வண்ணத்திறன் $(2n-1) \frac{\lambda}{2}$-க்குச்

சமமாக இருப்பின் சிவப்பு வண்ண வரி தோன்றும். எண்ணெய்த் தகடு மேலும் மெல்லியதாகும்போது சிவப்பு வரி மறைந்து இருள் வரி தோன்றும். பின்னர் உள்ள தடிப்புக்கு உரிய பாதை வேறுபாடு ஆரஞ்சு வண்ணத்தின் $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$-க்குச் சமமாக இருக்கும்போது ஆரஞ்சு வண்ண வரி தோன்றும். இவ்வாறு பல வண்ணங்கள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக வரிசையாகத் தோன்றும். அவற்றிற்கு இடையிடையே கருமை நிறமும் தோன்றும்.

ஆப்பு வடிவ மென்தகடு
(Wedge shaped film)

AB, *CD* என்பன ஆப்பு வடிவத் தகட்டின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தில் அதன் மேல் தளத்தையும் அடித்தளத்தையும் குறிக்கின்றன. இங்கு *AB*, *CD* ஆகியவற்றிற்கு இடைப்பட்ட ஊடகத்தின் தடிப்பு *BD* என்ற விளிம்பில் தொடங்கிச் சீராக

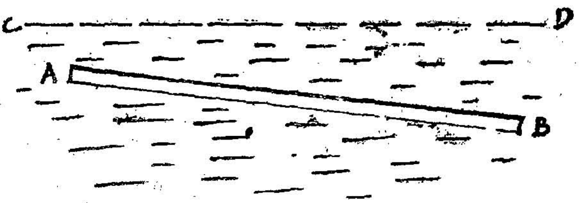


படம் 41

அதிகரித்துக் கொண்டே செல்வதைக் காண்கிறோம். இத் தகட்டை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒற்றை வண்ண ஒளியில் காண்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். *P* என்ற புள்ளியில் தகட்டின் தடிப்பு t என்றால் பாதை வேறுபாடு $2\mu t\cos r$ ஆகும். இப் பாதை வேறுபாடு ஒற்றை வண்ண ஒளியின் $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$-க்குச் சமமாக இருப்பின் *P* என்ற புள்ளி பொலிவுடையதாகத் தோன்றும். *P* வழியே ஆப்பின் விளிம்பிற்கு (படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக) இணையாகச் செல்லும் கோட்டிலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் அச்சமயத்தில் பாதை வேறுபாடு $2\mu t\cos r$ ஆகும். ஆகையால் அக்கோடு ஒரு பொலிவுள்ள வரியாகத் தோன்றும். *P* என்னும் புள்ளிக்கு இடப் பக்கத்திலும் வலப் பக்கத்திலுமுள்ள புள்ளிகளில் தகட்டின் தடிப்பு மாறுபடுவதால் அங்குப் பாதை வேறுபாடு $2n\frac{\lambda}{2}$-க்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே, அங்கு இருள் வரிகள் தோன்றும். இவ்வாறே அப்பரப்பு முழுவதும் ஒன்று விட்டு ஒன்றாய் அமைந்த ஒளி வரிகளும், இருள் வரிகளும் காணப்படும். அவை ஆப்பின் விளிம்பிற்கு இணையாக இருக்கும்.

ஒரு தளம் ஒளி அளவில் சமதளமுடையதா (Optically Plane) என்பதைச் சோதித்தல்

AB என்பது சோதிக்கப்பட வேண்டிய தளம். *CD* என்பது நீர்ப்பரப்பு. அசைவற்ற நீர்ப்பரப்பு நிச்சயமாக உண்மைத் தளமாக இருக்கும். இப்போது *AB*, *CD* என்ற தளங்களுக் கிடையே ஆப்பு வடிவ ஊடகத் தகடு அமைந்திருக்கிறது. *AB* என்பது உண்மைத் தளமாக இருப்பின், தகட்டின் தடிப்பு சீராக அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். எனவே, தோன்றுகின்ற

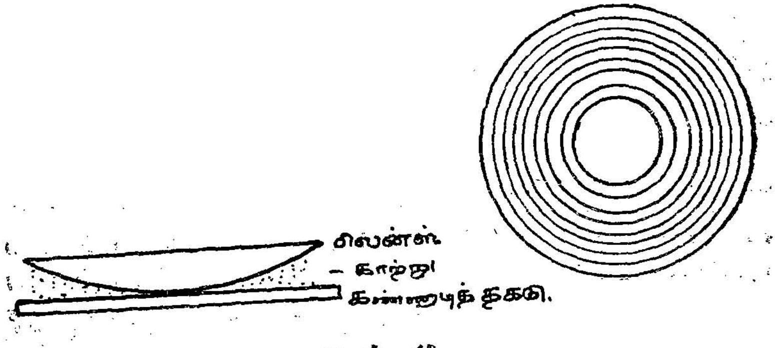


படம் 42

குறுக்கீட்டுப் பட்டைகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும். அவ்வாறின்றி *AB* என்பது உண்மைத்தளமாக இல்லையெனில் தடிப்பு சீராக மாருத காரணத்தால் குறுக்கீட்டு வரிகள் ஒழுங் கின்றி வளைந்தும் நெளிந்தும் காணப்படும். இதிலிருந்து ஒரு தளம் உண்மையில் சமதளமாக இருக்கிறதா இல்லையா என்பதைக் கண்டறியலாம்.

நியூட்டன் வளையங்கள் (Newton's rings)

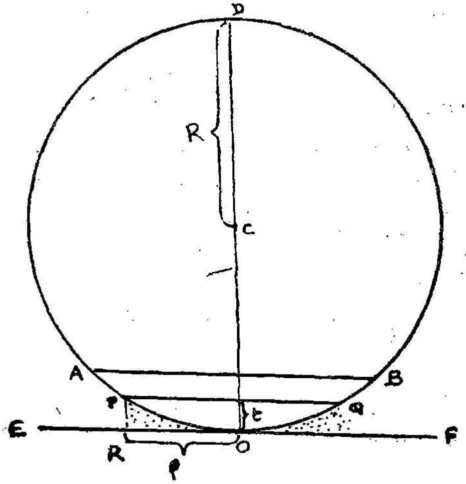
மிகுந்த வளைவு ஆரமுடைய ஒரு சமதளக் குவி வில்லையை ஒளியளவில் உண்மையான ஒரு கண்ணாடியின் மீது வைத்து, அவற்



படம் 43

றிற்கு இடையே உண்டாகும் காற்றுப் பகுதியை எதிரொளிக்கப் பட்ட ஒற்றை வண்ண ஒளியில் நோக்கினல் ஒன்று விட்டு ஒன்று பொலிவும் கருமையுமுடைய ஒருமைய வட்டங்கள் காணப்படும். வில்லையும் கண்ணடித் தகடும் ஒன்றை ஒன்று தொடும் புள்ளியில் அவ் வட்டங்களின் மையம் அமைந்திருக்கும். மையத்தை விட்டு வெளியே செல்லச் செல்ல வளையங்கள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கி யிருப்பதைக் காணலாம். இவ் வளையங்கள் நியூட்டன் வளையங்கள் எனப்படும்.

EF என்பது ஒளியளவில் உண்மையான தளம். AOB என்பது சமதள குவிவில்லை. O என்பது தொடு புள்ளி. C என்பது வில்லையின் வளைவு மையம். O என்ற புள்ளியில் காற்றுத் தகட்டால் மட்டும் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு சுழியாகும். ஆனல்



படம் 44

ஒளிக்கதிர்களிடையே மாறுபட்ட நிலைகளில் உண்டாகும் எதிரொளிப்பினல் உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். எனவே O-ல் மொத்த பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்கிறது. எனவே அங்குக் கருமை தோன்றும். எனவே தொடு புள்ளியை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒற்றை வண்ண ஒளியில் பார்த்தால் அது கரும் புள்ளியாகத் தோன்றும். இதுவே வளையத் தொகுதியின் மையமாகும்.

காற்றுத் தகட்டில் P என்ற புள்ளியில் காற்றின் தடிப்பு t என்றால் அவ்விடத்தில் காற்றுத் தகட்டால் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ ஆகும். மாறுபட்ட நிலையில் நிகழும் பிரதிபலிப்புகளால் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். எனவே கூடுதல் பாதை வேறுபாடு $\Delta = 2\mu t \cos r + \frac{\lambda}{2}$ ஆகும். இப்பாதை வேறுபாடு பயன்படுத்திய ஒற்றை வண்ண ஒளியின் $2n \frac{\lambda}{2}$ க்குச் சமமாக இருப்பின் அப்புள்ளி பொலிவுடன் தோன்றும். அஃதாவது $2\mu t \cos r = (2n-1) \frac{\lambda}{2}$ ஆக இருப்பின் அப் புள்ளி பொலிவுடன் தோன்றும். O-ஐ மையமாகவும் OR-ஐ ஆரமாகவும் உடைய வட்டத்தின் சுற்றுக் கோட்டில் அமைந்துள்ள எல்லா இடங்களிலும் காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பு t செ. மீ. இருக்குமாகையால் P பொலிவுடன் தோன்றும்போது அவ்விடத்திலமைந்த எல்லாப் புள்ளிகளுமே பொலிவுடன் தோன்றும். இவ்வாறு O-வை மையமாகவும் OR-ஐ ஆரமாகவும் கொண்ட ஒரு பொலிவு வட்டம் தோன்றும். P என்ற புள்ளிக்கு இரு பக்கங்களிலுமுள்ள புள்ளிகளில் காற்றின் தடிப்பு வேறுபடுகிறது. அங்கு $2\mu t \cos r = 2n \frac{\lambda}{2}$ ஆக அமையும். ஆகவே அப்புள்ளியின் வழியே O ஐ மையமாகக் கொண்ட இரு கருமையான வளையங்கள் செல்லும்; இவ்வாறு ஒன்று விட்டு ஒன்று பொலிவும் கருமையும் கொண்ட ஒருமைய வட்டங்கள் தோன்றும்.

குறிப்பு : ஒற்றை வண்ண ஒளிக்குப் பதிலாகச் சூரிய ஒளி போன்ற ஒளிக் கலவையைப் பயன்படுத்தினால் ஒவ்வொரு ஒளி வளையமும் அதன் உறுப்பு வண்ண வளையங்களாகப் பிரிந்து காணப்படும்.

n^{th} நியூட்டன் வளையத்தின் ஆரம் காணல்

P வழியே செல்லும் வளையம் n^{th} வளையம் என்று கொள்வோம். அவ்விடத்தில் காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பு t செ. மீ. என்போம். அவ் வளையத்தின் ஆரம் $OR = SP = P(P)$ என்று கொள்வோம். (படம் 44-ல்) C-ஐ மையமாகவுடைய வட்டத்தின் இரு நாண்கள் OD, PQ என்பன ஒன்றை ஒன்று S-ல் வெட்டிக் கொள்கின்றன.

எனவே, $PS \times SQ = OS \times SD$

$P^2 = t(2R - t)$ இங்கு R என்பது வில்லையின் வளைவு ஆரமாகும்.

$P^2 = 2Rt - t^2$. t என்பது மிகச் சிறியது ஆகையால் t^2 என்பது மிக மிகச் சிறியதாகும். எனவே அதை நீக்கிவிடலாம்.

$P^2 = 2Rt$ ஆகும். **(1)**

ஆனால், $2\mu t \ \text{Cos}\ r = \delta$

$$2t = \frac{\delta}{\mu \ \text{Cos}\ r}$$

$2t$ யின் இம் மதிப்பினைச் சமன்பாடு 1-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$P^2 = \frac{R\delta}{\mu \ \text{Cos}\ r} \text{ ஆகும்.} \quad \ldots \quad (2)$$

n^{th} ஒளி வளையமானால்,

$$P^2 = \frac{R(n - 1)\lambda}{\mu \ \text{Cos}\ r\ 2}$$

$$P = \sqrt{\frac{R(2n - 1)\lambda}{2\mu \ \text{Cos}\ r}} \quad \ldots \quad (3)$$

n^{th} இருள் வளையமானால்,

$$P^2 = \frac{Rn\lambda}{\mu \ \text{Cos}\ r}$$

$$P = \sqrt{\frac{Rn\lambda}{\mu \ \text{Cos}\ r}} \quad \ldots \quad (4)$$

ஒற்றை வண்ண ஒளி காற்றுத் தகட்டின் மீது செங்குத்தாக விழுமானால் $r = O$ ஆகும். எனவே $\text{Cos}\ r = 1$ ஆகும். மேலும் காற்றின் $\mu = 1$ ஆகும்.

எனவே,

n^{th} இருள் வளையத்தின் ஆரம்,

$$P = \sqrt{Rn\lambda}$$

n^{th} ஒளி வளையத்தின் ஆரம்,

$$P = \sqrt{\frac{R(2n - 1)\lambda}{2}}$$

மையத்தை விட்டு வெளியே செல்லச் செல்ல வளையங்கள் ஏன் ஒன்றை ஒன்று நெருங்குகின்றன ?

மேற்கூறிய சமன்பாடுகளில் $n = 1, 2, 3, 4$ ....என்று பதிலீடு செய்ய முறையே முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது ..... வளையங்களின் ஆரங்கள் கிடைக்கும். n அதிகரிக்க அதிகரிக்க ஒரு வளையத்தின் ஆரத்திற்கும் அதற்கு அடுத்த வளையத்தின் ஆரத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு குறைந்து கொண்டே வரும். இதனால் அவ் வளையங்கள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கிவருகின்றன.

நியூட்டன் வளையங்களைப் பயன்படுத்தி ஒரு வில்லையின் வளைவு ஆரம் அல்லது ஒற்றை வண்ண ஒளியின் அலைநீளம் காணல்

S என்ற ஒற்றை வண்ண ஒளி மூலத்திலிருந்து (சோடியம் ஆவி விளக்கு) கிளம்பிய ஒளிக்கதிர்கள் L என்ற வில்லையினால் இணைக் கற்றையாக்கப்படுகின்றன. பின் அவை 45° கோணத்தில் சாய்த்து வைக்கப்பட்டிருக்கும் P என்ற ஒளிபுகும் கண்ணாடித் தகட்டினால் செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கித் திருப்பப்பட்டுச் சமதளக் குவி வில்லைக்கும், ஒளியளவில் சமதளமான கண்ணாடித் தகட்டிற்கும் இடையிலுள்ள வில்லை வடிவக் காற்றுத் தகட்டின் மீது விழுகின்றது. அங்கு அவை குறுக்கீட்டு விளைவுற்ற பின் மேல் நோக்கித் திருப்பப் படுகின்றன. அவ்வாறு எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்களை நாம் ஆற்றல் வாய்ந்த நுண்ணோக்கியால் பார்க்கும் போது நியூட்டன் வளையங்கள் காட்சியளிக்கின்றன.

வளைய அமைப்பின் மையம் நுண்ணோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் வரும்படி நுண்ணோக்கியை அசைத்துச் சீர் செய்ய வேண்டும். நடைமுறையில் வளையத் தொகுப்பின் மையம் புள்ளியாக அமையாமல் ஒரு கருந்திட்டாகக் காட்சியளிக்கும். எனவே, வளையங்களின் வரிசை எண்ணைக் காண்பது கடினம். இத் தொல்லையை பின்வரும் முறையில் நீக்கலாம்.

தெளிவாகத் தெரிகின்ற முதல் வளையத்தை n^{th} வளையம் என்று கொள்வோம். நுண்ணோக்கியில் உள்ள குறுக்கிழைகளில் ஒன்று வளையத்திற்குத் தொடு கோட்டு நிலையில் இருக்கையில் மற்ற குறுக்கிழை மையம் வழியாகச் செல்லுமல்லவா ? குறுக்கிழைகளில் ஒன்று வளையத்திற்குத் தொடு கோட்டு நிலையில் இருக்கையில் நுண்ணோக்கியில் உள்ள வர்னியர் அளவு கோல்களின் உதவியால் அளவுக் குறிப்பு எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

இவ்வாறே $n+3$, $n+6$, $n+9$,..........$n+27$ ஆகிய வளையங்களுக்கு அளவுக் குறிப்புகள் எடுத்தபின், மேற்கூறிய அதே வளையங்களுக்கு மையத்தின் அடுத்த பக்கத்தில் அளவுக் குறிப்புகள் எடுக்கவேண்டும். குறிப்பிட்ட ஒரு வளையத்தின் இடப்பக்க அளவுக் குறிப்புக்கும் வலப்பக்க அளவுக்குறிப்புக்கு மிடையே உள்ள வேறுபாடு அவ் வளையத்தின் விட்டமாகும். அதிலிருந்து அவ் வளையத்தின் ஆரத்தைக் காணலாம்.

	வளையங்களின் வரிசை எண்	நுண்ணோக்கியில் அளவுக் குறிப்புகள்		விட்டம்	ஆரம் P	$P^2_{n+x} - P^2_n = Rx\lambda$
I	n					
	$n+3$					
	$n+6$					
	....					
	....					
	$n+12$					
II	$n+15$					
	....					
	....					
	....					
	....					
	$n+27$					

இவ்வாறு எடுத்த குறிப்புகளை இரு சம எண்ணிக்கையுடைய இரு பகுதிகளாகப் பிரித்துக் கொண்டு முதல் பகுதியின் முதல் குறிப்பையும் இரண்டாம் பகுதியின் முதல் குறிப்பையும் பயன்படுத்தி $P^2_{n+x} - P^2_n = Rx\lambda$ காணலாம். இங்கு $x = 15$ ஆகக் கொண்டு, $P^2_{n+15} - P^2_n = 15R\lambda$ என்றும் இவ்வாறே முதல் பகுதியின் இரண்டாவது குறிப்பையும் இரண்டாம் பகுதியின் இரண்டாவது குறிப்பையும் எடுத்துக் கொண்டு,

$$P^2_{n+18} - P^2_{n+3} = 15R\lambda \text{ என்றும்,}$$

இதுபோலவே $P_{n+21} - P_{n+6} = 15R\lambda$ என்றும்,

....

$$P_{n+27} - P_{n+12} = 15R\lambda$$ என்றும்,

காட்டலாம். இவ்வாறு கணக்கிட்ட $15\,R\lambda$-ன் சராசரி மதிப்பு K என்போம்.

$$15\,R\lambda = K$$

எனவே, $\lambda = \dfrac{K}{15\,R}$ செ. மீ.

அல்லது $R = \dfrac{K}{15\lambda}$ செ.மீ.

மிகக் குறைந்த அளவில் கிடைக்கும் திரவங்களுக்கு நியூட்டன் வளையங்கள் முறையில் ஒளி விலகல் எண் காணல்

சமதளக் குவி வில்லைக்கும் ஒளியளவில் சமதளமான கண்ணாடித் தகட்டிற்கும் இடையில் காற்று பரவி இருக்கும்போது நியூட்டன் வளையங்கள் தோன்றச் செய்து $15R\lambda$-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடுகிறோம். அம் மதிப்பு K என்போம். பின்னர் அந்த இடைவெளியில் காற்றுக்குப் பதில் அத் திரவத்தை நிரப்பி நியூட்டன் வளையங்கள் தோன்றச் செய்து $\dfrac{15R\lambda}{\mu}$-ன் மதிப்பினைப் பெறலாம். எவ்வாறெனில்

$$P^2 = \frac{Rn\lambda}{\mu \cos r}$$ என்பது பொதுவான சமன்பாடு.

$\cos r = 1$ ஆகையால்,

$$P^2 = \frac{Rn\lambda}{\mu}$$ ஆகும்.

எனவே, $P^2_{n+15} - P^2_{n} = \dfrac{15R\lambda}{\mu}$ ஆகும்.

$$P^2_{n+18} - P^2_{n+3} = \frac{15R\lambda}{\mu}$$

இதேபோன்று $\dfrac{15R\lambda}{\mu}$-ன் சராசரி மதிப்பினைப் பெறலாம் அம் மதிப்பு K_1 என்போம்.

$$15R\lambda = K$$

$$\frac{15R\lambda}{\mu} = K_1$$

எனவே, $\mu = \dfrac{K}{K_1}$

9. விளிம்பு விளைவு
(Diffraction)

ஒளி பிரதிபலித்தல், விலகல், குறுக்கீட்டு விளைவு போன்ற நிகழ்ச்சிகளுக்கு அலைக் கொள்கையாளர் தகுந்த விளக்கம் தந்தனர். ஒளியின் நேர்க்கோட்டு இயக்கம் என்ற நிகழ்ச்சிக்கு விளக்கந் தருவதில் சில இடையூறுகள் இருந்தன. ஒளி செல்லும் பாதையிலுள்ள ஒளிபுகாப் பொருள்கள் நிழல்கள் உண்டாக்குவது ஊசித்துளை கேமிரா (pinhole camera) சந்திர கிரணம் மற்றும் சூரிய கிரணம் போன்ற நிகழ்ச்சிகள் ஒளி நேர்க்கோட்டில் செல்கிறது என்ற உண்மைக்குச் சான்றாக இருந்தன. ஒளி அலை வடிவுடையது என்றால் அது நீர் அலை, ஒலி அலைகளைப்போன்று தடைப் பொருள்களின் விளிம்பில் வளைதல் வேண்டும். அவ்வாறெனின் நேர்க்கோட்டு இயக்கம் என்னாகும்?

1665 ஆம் ஆண்டிலேயே கிரிமால்டி (Grimaldi) என்பார் ஒளிபுகாப் பொருள்களின் நிழலில் விளிம்புகள் தெளிவாக இல்லாமையையும், ஒளி நேர்க்கோட்டுச் செலவுப் பண்பி லிருந்து சிறிது மாறுபட்டுச் செலவதையும் கண்டார். இவ்வாறு ஒளி பொருள்களின் விளிம்புகளில் வளைந்து செல்லும் நிகழ்ச்சியினை விளிம்பு விளைவு (diffraction) என்பர்.

ஃபரனல் கூறிய விளக்கம்

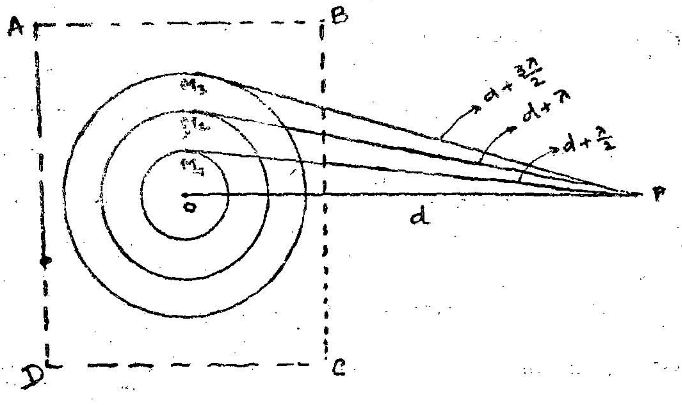
ஒரு தடைப் பொருளின் விளிம்பில் ஒளி அடையும் வளைவின் அளவு, அவ்வொளியின் அலை நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. ஆகவேதான் மிக அதிக அலை நீளமுடைய ஒலி மற்றும் நீர் அலைகள் ஆகியவை தடைப் பொருள்களின் விளிம்புகளில், எளிதில் காணக் கூடிய அளவு அதிக வளைவினை அடைகின்றன. அவற்றோடு ஒப்பிட மிகக் குறைந்த அலை நீளமுடைய ஒளி அலைகள், விளிம்பில் அடையும் வளைவின் அளவு

மிகக் குறைவாக இருப்பதால் எளிதில் அதை உணர முடியவில்லை என்ற விளக்கத்தை ஃபரனல் கூறினர்.

நேர்க்கோட்டு இயக்கத்திற்கு ஃபரனல் தந்த விளக்கம்
(Fresnel's explanation of rectilinear propagation)

ஒளிபுகாப் பொருள் ஒன்றை ஓர் ஒற்றை வண்ண ஒளியின் இணைக்கற்றை செல்லும் பாதையில் வைப்போம். அப்பொருளின் வடிவியல் நிழலை (Geometric shadow) கூர்ந்து நோக்கினல் அதன் விளிம்புகளில் ஒளிச் செறிவு சுழியாவதில்லையென்றும். சிறிது தூரம் உள்நோக்கிச் சென்ற பின்பே சுழியாகிறதென்றும் உணரலாம்.

ABCD என்ற முன்னேறி வரும் ஒரு சமதள அலைமுகப்பு அதிலிருந்து d செ.மீ. அப்பால் உள்ள P என்ற புள்ளியில் தரும் செறிவினைக் கணக்கிடுவோம், இதற்கு அலைமுகப்பினைப் பின்வருமாறு பல பகுதிகளாகப் பிரித்துக் கொள்ளலாம்.



படம் 45

அலை முகப்பில் $PM_1 = d + \frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்குமாறு M_1 என்ற புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். P-ஐ மையமாகவும் PM_1 ஐ ஆரமாகவுமுடைய ஒரு கோளத்தைக் கற்பனை செய்வோமானால் அஃது அலைமுகப்பில் O ஐ மையமாகவும் OM_1 ஐ ஆரமாகவும் உடைய ஒரு வட்டத்தைத் தரும். இவ்வாறே PM_2-ஐ ஆரமாகவுடைய கோளம் OM_2-ஐ ஆரமாக உடைய வட்டம் ஒன்றை அலைமுகப்பில் உண்டாக்கும். இது போன்று அலை

முழுவதும் பல வட்டங்களாக்கப்படும். முதல் வட்டத்தின் முகப்பு சுற்றுக் கோட்டிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் P-யிலிருந்து $d+\frac{\lambda}{2}$ தூரத்தில் இருக்கின்றன. எனவே, O என்ற புள்ளியிலிருந்து வருகின்ற பின்வரு அலைக்குட்டிக்கும் M_1 என்ற புள்ளி வழியே செல்லும் வட்டத்தின் எந்தப் புள்ளியிலிருந்தும் வருகின்ற பின்வரு அலைக்குட்டிக்கும் இடையே அவை P-ல் சந்திக்கும்போது பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்கும். இது காலக் கணக்கில் பாதியளவு அலைவு நேரத்திற்குச் சமமாகும். அஃதாவது, M_1 வழியே செல்லும் வட்டத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டி O-விலிருந்து கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டியைவிடப் பாதியளவு அலைவு நேரம் முன்னதாகக் கிளம்ப வேண்டும். அப்போதுதான் அவை P-ல் சந்திக்க முடியும். எனவே M_1 என்ற வட்டத்தினுள் அடங்கிய பரப்பு முதல் அரை அலைவு நேரப் பகுதி (half period zone) என்றழைக்கப்படுகிறது.

இவ்வாறே M_2 என்ற புள்ளி வழியாகச் செல்லும் வட்டத்திலிருந்து கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டிகளுக்கும் M_1 என்ற புள்ளி வழியே செல்லும் வட்டத்திலிருந்து கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டிகளுக்குமிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். எனவே முதல் வட்டத்திற்கும் இரண்டாவது வட்டத்திற்குமிடையே உள்ள மோதிர வளையப் பரப்பு இரண்டாவது அரை அலைவு நேரப் பகுதி எனப்படும். இவ்வாறு அலை முகப்பு முழுவதையும் பல அரை அலைவு நேரப்பகுதிகளாகப் பிரித்துக் கொள்ளலாம்.

n^{th} அரை அலைவு நேரப் பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம்.

அதன் பரப்பு $= \pi\,(OM^2_n - OM^2_{n-1})$ ஆகும்.

$$OM^2_n = \left(d+\frac{n\lambda}{2}\right)^2 - d^2$$

$$OM^2_{n-1} = \left(d+\frac{\overline{n-1}\,\lambda}{2}\right)^2 - d^2$$

$\therefore\ OM^2_n - OM^2_{n-1} = d\lambda$ ஆகும். (λ-ன் இருமடி மிக மிகச் சிறியது ஆதலால் கணக்கில் சேர்க்காது விடப்பட்டது.)

ஆகவே, n^{th} அரை அலைவு நேரப் பகுதியின் பரப்பு $= \pi d \lambda$ இச் சமன்பாட்டில் பகுதிகளின் வரிசை எண் இல்லை ஆதலால் எல்லா அரை அலைவு நேரப்பகுதிகளும் ஒரே பரப்புடையனவாகும். எனவே, ஒவ்வொரு அரை அலைவு நேரப் பகுதியிலிருந்தும் சம எண்ணிக்கையுடைய துணை மூலங்கள் அலைக்குட்டிகளை எழுப்பும். மேலும் O-விலிருந்து வரும் பின்வரு அலைக்குட்டியும் M_1 என்ற வட்டத்திலிருந்து வரும் பின்வரு அலைக்குட்டியும் P என்ற புள்ளியை அடையும் போது அவற்றிற்கிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ என்று கூறினோம். இது π என்னும் நிலை மாற்றத்திற்குச் (phase difference) சமமாகும். இந்த அரை அலைவு நேரப்பகுதியிலுள்ள முற்ற புள்ளிகளின் நிலைவேறுபாடு O-க்கும் π-க்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும். எனவே முதல் அரை அலைவு நேரப் பகுதியின் சராசரி நிலை $\pi/2$ என்று கொள்ளலாம். இவ்வாறே இரண்டாவது அரை அலைவு நேரப் பகுதியிலுள்ள புள்ளிகளின் நிலைகள் π-க்கும் 2π-க்குமிடையே இருப்பதால் இப் பகுதியின் சராசரி நிலை $\frac{3\pi}{2}$ என்றும், மூன்றாவது அரை அலைவுப் பகுதியின் நிலை $\frac{5\pi}{2}$ என்றும், இவ்வாறே மற்ற பகுதிகளுக்கு $\frac{7\pi}{2}$, $\frac{9\pi}{2}$ ....என்றும் கொள்ளலாம். முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது.................. அரை அலைவு நேரப்பகுதிகளிலிருந்து கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டிகள் P என்ற இடத்திலுள்ள ஈதர் துகளுக்கு முறையே d_1, d_2, d_3 .... என்ற இடப்பெயர்ச்சிகளைத் தருவதாகக் கொள்வோம். அடுத்தடுத்துள்ள பகுதிகளுக்கு இடையே உள்ள நிலைவேறுபாடு π அல்லது பாதைவேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ எனக் கண்டோம். எனவே, முதற்பகுதி தரும் இடப்பெயர்ச்சி + என்றால், இரண்டாம் பகுதி தரும் இடப்பெயர்ச்சி — ஆகும். மூன்றும் பகுதி தரும் இடப்பெயர்ச்சி + ஆகும். இவ்வாறே இடப்பெயர்ச்சிகளின் குறி மாறி மாறி வரும். ஆகவே, P என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் விளைவு இடப்பெயர்ச்சி,

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + d_5 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

பகுதிகளின் பரப்பு சமம் ஆகையால் ஒவ்வொரு பகுதி வழியாகவும் ஒரு வினாடியில் செல்லும் ஒளியின் அளவு சமமாகும். ஆனால் பகுதிகளின் வரிசை எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, P-யிலிருந்து அவற்றின் தூரமும் அதிகரித்துக் கொண்டே போகிறது. ஒரு

—7

புள்ளியில் காணப்படும் செறிவு அப் புள்ளிக்கும் மூலத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும் என அறிவோம். மேலும் செறிவு இடப் பெயர்ச்சியின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே தூரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இடப் பெயர்ச்சி குறையும் என்றாகிறது. இதிலிருந்து $d_1, d_2, d_3 \ldots$ என்ற இடப்பெயர்ச்சிகளின் அளவுகள் இறங்கு வரிசையில் இருக்கும் என அறிகிறோம்.

சமன்பாடு 1-ஐ பின்வருமாறு மாற்றி அமைத்து எழுதலாம்.

$$D = \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \cdots$$

இவை சீரான இறங்கு வரிசையில் அமைந்திருப்பதால்,

$$\frac{d_1 + d_3}{2} = d_2 \text{ ஆகவும்,}$$

$$\frac{d_3 + d_5}{2} = d_4, \frac{d_5 + d_7}{2} = d_6 \text{ என்றாகும்.}$$

எனவே,

$$D = \frac{d_1}{2} \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

ஆகவே செறிவு $I = KD^2$

$$= \frac{Kd_1^2}{4} \text{ ஆகும்.}$$

அலைமுகப்பிற்கும் P என்ற புள்ளிக்கும் இடையே ஓர் ஒளி புகாப் பொருளைத் தடையாக வைப்போம். இப்பொருள் எவ்வளவு சிறியதாக இருப்பினும், குறிப்பிடத்தக்க எண்ணிக்கை கொண்ட அரை அலைவு நேரப்பகுதிகளை மறைத்து விடும். எடுத்துக் காட்டாக முதல் 40 அரை அலைவு நேரப்பகுதிகள் மறைக்கப் பட்டன என்றால்,

$$I = K\frac{d^2_{41}}{4} \text{ ஆகும். } d_{41} << d_1$$

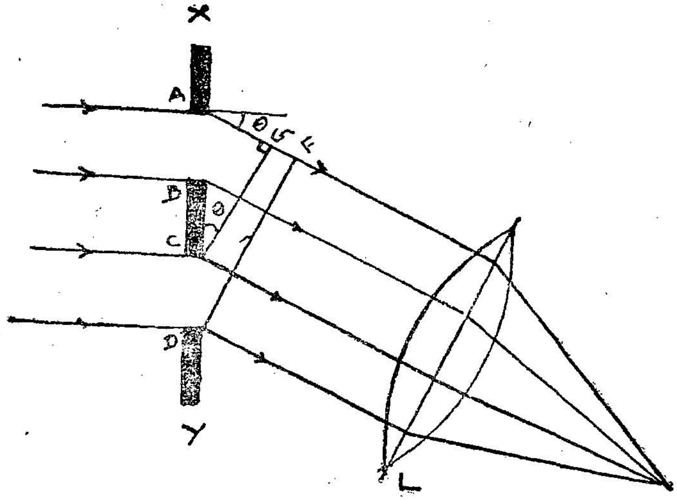
எனவே, இதனால் P-ல் ஏற்படும் செறிவு மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். அஃதாவது நடைமுறையில் P என்ற புள்ளியில் இருள் சூழும். அதைத்தான் நாம் நிழல் என்கிறோம். எனவே நிழல் என்பது ஒளி நேர்க் கோட்டில் செல்வதால் ஏற்படுவதில்லை. ஒளி

நேர்க் கோட்டில் சென்றால் என்ன நிகழுமோ அஃது இங்கு நிகழ்கிறது. ஒளி நேர்க்கோட்டில் செல்லும் என்பது ஓரளவிற்கே பொருந்தும். அது முற்றிலும் உண்மை இல்லை. ஒளியும் மற்ற அலைகளைப் போலவே, விளிம்புகளில் வளையவே செய்கிறது என்று ஃபிரனல் விளக்கம் தந்தார்.

ஒளி கடத்தும் சமதள கீற்றணி
(The plane transmission Grating)

ஒரு சமதளக் கண்ணாடித் தகட்டில் சம இடைவெளி கொடுத்து வரையப்பட்ட, இணையான, பல்லாயிரக்கணக்கில் அமைந்த ஒளி புகாத கோடுகளை உடையதுதான் ஒளிகடத்தும் சமதள கீற்றணி (plane transmission grating) எனப்படும். இத்தகைய கீற்றணிகளில் ஓர் அங்குலத்திற்கு 10 முதல் 14 ஆயிரம் கோடுகள் வரையில் வரையப்பட்டிருக்கும்.

கீற்றணியின் மேல் விழும் ஒளி அடுத்தடுத்துள்ள இரு கோடுகளுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி மூலம் மட்டுமே செல்லக்கூடும். எனவே, கீற்றணியை ஒன்றுக்கொன்று இணையாய் அமைந்த பல்லாயிரக் கணக்கான குறுகலான பிளவுகளாகக் கருதலாம்.



படம் 46

ஒற்றை வண்ண ஒளியின் இணைக்கற்றை ஒன்று கீற்றணித் தளத்தின் மீது செங்குத்தாக விழுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். படத்தில் *AB*, CD என்பன பிளவுகளின் அகலத்தைக் குறிக்கின்றன. அதன் அளவு '*a*' என்போம். *BC*, *DE* என்பன ஒளி புகாத கோடுகளின் அகலத்தைக் குறிக்கின்றன. அதன் அளவு 'b' என்போம். கீற்றணியின் தளத்தில் உள்ள *A* மற்றும் *C* என்ற புள்ளிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். இவை ஒத்த புள்ளிகள் (corresponding points) எனப்படும். அப்படிப்பட்ட புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $(a+b)$ ஆகும். இத் தூரத்தைக் கீற்றணியின் அடிப்படைக் கூறு (grating element) என்பர். கீற்றணியில் ஒரு செண்டி மீட்டரில் *N* கோடுகள் வரையப்பட்டிருந்தால் அதில் *N* இடைவெளிகள் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே *N* கோடுகளும் *N* இடைவெளிகளும் சேர்ந்து ஒரு செண்டி மீட்டர் நீளமிருக்கும். அஃதாவது

$$Na + Nb = 1 \text{ செ.மீ.}$$

$$a+b = \frac{1}{N} \text{ செ.மீ.}$$

சமதள அலைமுகப்பு XY என்ற கீற்றணியின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக விழுகிறது. *ABCD*–ல் உள்ள எல்லா ஈதர் துகள்களும் பின்வரு அலைக்குட்டி மூலங்களாகச் செயற்படுகின்றன. கோடுகள் ஒளி புகாத் தன்மையுடையன ஆதலால் அவ்விடங்களில் உள்ள பின்வரு அலைக்குட்டிகள் வலப் பக்கம் பரவுவது இல்லை. ஆனால் பிளவுகளில் உள்ள பின்வரு அலைக் குட்டிகள் வலப்பக்கம் பரவுகின்றன. படுகதிரின் திசையிலிருந்து $\theta°$ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள திசையில் பரவிச் செல்லும் பின்வரு அலைக்குட்டிகளை எடுத்துக்கொள்வோம்.

XY என்னும் கீற்றணித்தளம் வரையில் எல்லா அலைகளும் செல்லுந்தூரம் ஒன்றே. அவ்வாறே *DE* என்ற தளத்திற்கு அப் பாலும் அவ்வலைகள் செல்லும் தூரம் சமமாக இருக்கிறது. *A* மற்றும் *C* என்ற ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்புகின்ற பின்வரு அலைக்குட்டிகளுக்கு இடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு *AG* ஆகும். $\frac{AG}{AC} = \sin\theta$ ஆகும்.

எனவே பாதை வேறுபாடு $AG = AC \sin \theta$

$$= (a + b) \sin \theta$$

$$= \frac{1}{N} \sin \theta$$

இவ்வாறே ஒவ்வொரு ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்தும் கிளம்பும் பின்வரு அலைக்குட்டிகளுக்கிடையே ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $\frac{1}{N} \sin \theta$ ஆகும். இப்பாதை வேறுபாடு ஒற்றை வண்ண ஒளியின் $n\lambda$–க்குக் சமமானால் L என்ற வில்லையினால் குவிக்கப்படும் இவ்வலைகள் ஒன்றையொன்று வலுவூட்டிப் பொலிவு மிக்க பிம்பத்தை உண்டாக்கும். எனவே பொலிவு மிக்க பிம்பம் கிடைக்கும்போது

$$\frac{1}{N} \sin \theta = n\lambda$$

$$\sin \theta = Nn\lambda$$

ஒளியைச் சாதாரணக் கண்ணாடித் தகட்டின் வழியே செலுத்திப் பின் ஒரு வில்லையைக் கொண்டு அவ்வொளியைக் குவியச் செய்தால் ஒரே ஒரு பிம்பம் மட்டுமே கிடைக்கும். ஆனால் கீற்றணி அமைப்பில் n–ன் பல முழு எண் மதிப்பிற்கு ஏற்பப் பல பொலிவுள்ள பிம்பங்கள் கிடைக்கின்றன.

$n = O$ ஆகும்போது $\sin \theta = O$ ஆகும். இது வில்லை வழியாகப் படுகதிரின் திசையில் காணப்படும் நேர்ப்பிம்பமாகும். (direct image)

$n = 1$ ஆகும்போது $\sin \theta_1 = N \times 1 \times \lambda$. எனவே முதல் வரிசை பிம்பம் காணப்படும் திசை படுகதிரின் திசையிலிருந்து θ_1 சாய்ந்திருக்கும். மேலும் அதே கோண அளவில் சாய்ந்துள்ள திசையில், படுகதிருக்கு இப் பக்கம் ஒன்றும் மறுபக்கம் ஒன்றுமாக இரு பிம்பங்கள் தோன்றும்.

$$n = 2 \qquad \sin \theta_2 = N \times 2 \times \lambda$$

படுகதிரின் திசையிலிருந்து θ_2 சாய்ந்துள்ள திசையில் இப் பக்கம் ஒன்றும் மறுபக்கம் ஒன்றுமாக இரு இரண்டாம் வரிசைப் பிம்பங்கள் தோன்றும். இவ்வாறே கொள்கையளவில் n–ன் பல்வேறு மதிப்புகளுக்குரிய பல வரிசைகள் தோன்றும். ஆனால் நடைமுறையில் மூன்று வரிசைகளுக்குமேல் பெறக்கூடிய கீற்றணிகளைத் தயாரிக்க இயலவில்லை.

மேற்கூறிய அமைப்பில் ஒற்றை வண்ண ஒளிக்குப் பதிலாகப் பல வண்ணக் கலப்பு ஒளிமூலம் ஒன்று பயன்படுத்தப்பட்டால்,

$\theta = 0$ ஆகும்போது $(a+b)\sin\theta = 0$ ஆகும். எனவே எல்லா வண்ணங்களின் ஒளி வரிகளும் ஒன்றின்மேல் ஒன்றாகத் தோன்றும். எனவே கலப்பு ஒளிப் பிம்பம் தெரியும்.

θ-வைச் சிறிது சிறிதாக அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும்போது $(a+b)\sin\theta$-ன் மதிப்பு ஒவ்வொரு வண்ணத்தின் $\frac{\lambda}{2}$ மதிப்பிற்குச் சமமாகிக் கொண்டே வரும். இதனால் கருமைப் பிம்பம் தோன்றும். அஃதாவது பிம்பம் தெரியாது.

θ – மேலும், மேலும் அதிகரிக்கும்போது $(a+b)\sin\theta$-ன் மதிப்பு ஒவ்வொரு வண்ணத்தின் λ மதிப்பிற்குச் சமமாகும்போது முதல் வரிசையில் அவ் வண்ணப் பிம்பம் தோன்றும். எடுத்துக் காட்டாகச் சூரிய ஒளி போன்ற வெண்மையான ஒளியைப் பயன் படுத்தினால் ஊதா (violet) வண்ணப் படிவத்திலிருந்து சிவப்பு வண்ணப் படிவம் ஈறாகப் பல வண்ணப் படிவங்கள் தோன்றி முடியும். பின்னர் θ மேலும் அதிகரிக்கும்போது $(a+b)\sin\theta$-ன் மதிப்பு ஒவ்வொரு வண்ணத்தின் $\frac{3\lambda}{2}$ மதிப்புகளுக்குச் சமமாகிக் கொண்டே வருவதால் பிம்பமற்ற இருள் தோன்றும். பின்னர் $(a+b)\sin\theta = 2\lambda$ ஆகும்போது மீண்டும் ஊதா முதல் சிவப்பு ஈறாக உடைய பல வண்ணப் பிம்பங்கள் தோன்றும்.

கீற்றணி தகட்டின் பிரிதிறன்
(Dispersive power of a Grating)

விளிம்பு விளைவு கோணத்தின் மாறுபாட்டிற்கும் அதற்குரிய அலைநீள மாறுபாட்டிற்கும் உள்ள விகிதம் கீற்றணியின் பிரிதிறன் எனப்படும். θ_1 θ_2 என்பன λ_1, λ_2 என்ற அலை நீளங்களுக்குரிய விளிம்பு விளைவு கோணங்கள் எனின், விளிம்பு விளைவு கோணத்தில் ஏற்படுகின்ற $(\theta_2 - \theta_1)$ என்ற மாறுபாட்டிற்கு $(\lambda_2 - \lambda_1)$ என்ற அலை நீள மாறுபாடு உண்டாகிறது. எனவே,

$$\text{பிரிதிறன்} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$= \frac{d\theta}{d\lambda}$$

$$\text{Sin}\ \theta = Nn\lambda$$

$$\therefore\ \text{Cos}\ \theta\ d\theta = Nn\ d\lambda$$

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{Nn}{\text{Cos}\ \theta}$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து நிறமாலையின் வரிசை எண் அதிகமாக அதிகமாகப் பிரிதிறனும் அதிகமாகும் என அறிகிறோம். மேலும் N மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாகப் பிரிதிறன் அதிகமாகும்.

கீற்றணியின் பகுதிறன் (Resolving power of a grating)

மிக நெருங்கியுள்ள இரு நிறமாலை வரிகளை ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றைப் பிரித்துக் காட்டுகின்ற திறன் ஓர் ஒளியியல் கருவியின் பகுதிறன் (resolving power) எனப்படும். λ மற்றும் $\lambda + \Delta\lambda$ அலை நீளங்கள் கொண்ட இரு நிறமாலை வரிகளைப் பிரித்துத் தனித் தனியாகக் காட்டும் ஆற்றல் வாய்ந்த கருவியின் பகுதிறன் $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ ஆகும். பிரித்துக் காட்டப்படும் அலை நீளங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடாகிய $\Delta\lambda$ எவ்வளவிற்குச் சிறியதாக இருக்கிறதோ அவ்வளவிற்கு அக் கருவி அதிகப் பகுதிறன் கொண்டது என்பதை அறியலாம். கீற்றணியின் பகுதிறன் அது தருகின்ற நிறமாலையின் வரிசை எண்ணையும், கீற்றணியில் வரையப்பட்டிருக்கும் கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையையும் பொருத்தது.

கீற்றணியைப் பயன்படுத்தி ஒளியின் அலைநீளம் காணல்

கீற்றணியின் N மதிப்பு காணல்

அலைநீளம் தெரிந்த (சோடியம் ஒளி) ஒற்றை வண்ண இணைக் கற்றையைக் கீற்றணியின் மீது செங்குத்தாக விழச் செய்து முதல் வரிசை நிறமாலையில் விளிம்பு விளைவு கோணம் θ-ஐ அளவிட்டு விட்டால்,

$\text{Sin}\ \theta = N \times 1 \times \lambda$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி N-ன் மதிப்பினை அடையலாம். பின்னர் அலைநீளம் அளவிடப் படவேண்டிய வண்ண ஒளியின் இணைக் கற்றையைக் கீற்றணியின்மீது செங்குத்தாக விழுமாறு செய்து முதல் வரிசையில் ஒவ்வொரு வண்ணத்திற்கும் உரிய விளிம்பு விளைவு கோணத்தை அளவிட வேண்டும். அக் கோணங்களையும், N-ன் மதிப்பினையும்,

$\text{Sin}\theta = N \times 1 \times \lambda$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி λ-ன் மதிப்பினைப் பெறலாம். இவ்வாறே இரண்டாம் வரிசையில் ஒவ்வொரு வண்ணத்திற்கும் உரிய கோணத்தை அளவிட்டு,

Sin $\theta = N \times 2 \times \lambda$ என்ற சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி அவ் வண்ணங்களின் அலை நீளங்களை அளவிடலாம்.

செய்முறை

சோதனைக்கு முன்பு, நிறமாலைமானியில், வழக்கமாகச் செய்ய வேண்டிய சீரமைப்புகளைச் செய்து அதிலுள்ள தொலை நோக்கி இணைக்கதிர்களைப் பெறுவதற்கு ஏற்றதாக அமைக்க வேண்டும். கீற்றணியை, அதில் வரைந்துள்ள கோடுகள் இணையாக்கி (collimater)-யின் முனையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். பிளவின் போக்கிற்கு இணையாக அமையுமாறு முப்பட்டக மேடையின் மீது நிறுத்தவேண்டும். இணையாக்கியிலிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்கள் கீற்றணியின் தளத்தில் செங்குத்தாக விழுவதற்கு ஏற்ற வகையில் கீற்றணியை வைக்கவேண்டும். தொலை நோக்கியை நகர்த்தி நேர்ப் பிம்பத்தை (direct image) நோக்க வேண்டும். பிம்பத்தில் பிளவின் நிலையான விளிம்புடன் தொலை நோக்கியின் செங்குத்துக் குறுக்கிழை ஒன்றுமாறு செய்து வர்னியரைப் பயன் படுத்தி இந்நிலைக்குரிய அளவுக் குறிப்புகளை (readings) எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர் இந்நிலையிலிருந்து தொலைநோக்கி யை சரியாக 90° சுழற்றிய பின்பு அவ்விடத்தில் அதை அசை யாமல் நிலை நிறுத்த வேண்டும். பின்னர் முப்பட்டக மேடையை மட்டும் சுழற்றி இணையாக்கி வழியாக வரும் இணைக்கற்றை கீற்ற ணியில் பட்டுப் பிரதிபலித்துப் பின் தொலை நோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் தெரியுமாறு செய்ய வேண்டும். பிளவின் எதிரொளிக்கப் பட்ட பிம்பத்தின் நிலையான விளிம்பு செங்குத்துக் குறுக்கிழை யுடன் ஒன்றும்போது முப்பட்டக மேடையை அசையாமல் நிலை நிறுத்திவிடவேண்டும். இப்போது கீற்றணி படுகதிரின் திசை யிலிருந்து 45° சாய்ந்திருக்கும். இப்போது வர்னியரை நிறுத்தி வைக்கும் திருகினைச் சிறிது தளர்த்தி முப்பட்டக மேடையுடன் வர்னியரைச் சரியாக 45° திருப்பினால் படுகதிர் கீற்றணியின் தளத்தில் முற்றிலும் செங்குத்தாக விழும். இந்நிலையில் வர்னியர் திருகினை நன்கு முறுக்கி அதை அசையாது இருக்கச் செய்து விட்டுப் பின் தொலை நோக்கியின் திருகைத் தளர்த்தி அதைச் சுழற்றி நிறமாலையைக் காணப் பயன்படுத்தலாம்.

இணையாக்கியில் உள்ள பிளவினைப் பாதரச ஆவி விளக் கினால் ஒளியூட்டிப் பாதரசத்தின் தன்னியல்பு நிறமாலையைப் பெறலாம்.

தொலைநோக்கி வழியாகப் பார்த்துக் கொண்டே தொலை நோக்கியை இடப்பக்கம் முதல் வரிசையின் கடைசி நிறமாலை

வரிக்குக் கொண்டு செல்லவேண்டும். அங்குச் செங்குத்துக் குறுக்கிழை நிறமாலை வரியுடன் ஒன்றிய நிலையில் இருக்கையில் அவ்வரிக்குரிய அளவுக்குறிப்புகளை எழுதிக்கொள்ளவேண்டும். பின் தொலை நோக்கியை வலப்பக்கமாக மெதுவாக நகர்த்திக் கொண்டே சென்று ஒவ்வொரு நிறமாலை வரிக்கும் உரிய அளவுக் குறிப்புகளை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். தொடர்ந்து நகர்த்திக் கொண்டே சென்றால் நேர்ப் பிம்பத்தைக் கடந்து வலப்பக்கத்தில் முதல் வரிசையில் முதல் நிறமாலை வரியை அடைவோம். அதற்குக் குறிப்பு எடுத்துக் கொண்டு மேலும் நகர்த்திச் சென்று ஒவ்வொரு வரிக்கும் குறிப்புகள் எடுத்து முடித்து இறுதியாக வலப் பக்கம் முதல் வரிசையில் இறுதி நிறமாலை வரியை அடைய வேண்டும். குறிப்பிட்ட வண்ணமுடைய நிறமாலை வரிக்கு இரு பக்கங்களிலும் எடுத்த அளவுகளின் வேறுபாடு அவ் வரிக்கு உரிய 2θ ஆகும். இதிலிருந்து θ-ஐக் கணக்கிட்டு,

$\sin\theta = N \times 1 \times \lambda$ என்ற சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தி அவ்வரிக்கு உரிய அலை நீளத்தைக் கணக்கிடலாம்.

இது போன்றே இரண்டாம் வரிசை நிறமாலை வரிகளுக்கு எடுத்த குறிப்புகளை,

$\sin\theta = N \times 2 \times \lambda$ என்ற சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தியும் அவ் வரிகளின் அலை நீளங்களைக் கணக்கிடலாம்.

மேற்சொன்னவாறு இரு வேறு வண்ணங்களுக்குரிய அலை நீளங்கள் λ_1, λ_2 ஆகியவற்றையும் அவற்றிற்குரிய விளிம்பு விளைவு கோணங்களாகிய θ_1, θ_2 ஆகியவற்றையும் பயன்படுத்திக் கீற்றணியின் பிரிதிறனைக் கணக்கிடலாம்.

$$\text{பிரிதிறன்} = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

முப்பட்டக நிறமாலைக்கும் கீற்றணி நிறமாலைக்கும் இடையே உள்ள நிறைகளும் குறைகளும்

(1) முப்பட்டகத்தின் பிரிதிறன், அது செய்யப்பட்டிருக்கும் பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் மதிப்பைப் பொருத்தது. ஆதலால் வெவ்வேறு வகைக் கண்ணாடியால் செய்த முப்பட்டகங்கள் வெவ் வேறு பிரிதிறனைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஆனால் கீற்றணியின் பிரிதிறன் கீற்றுகள் வரையப்பட்டிருக்கும் கண்ணாடியைப் பொருத்

தது அன்று. கீற்றணி உறுப்பு (Element) எனப்படும்—ஒரு சென்டி மீட்டரில் வரையப்பட்டிருக்கும் கீற்றுகளின் எண்ணிக்கையைப் (*N*-ஐ) பொருத்தது.

(2) முப்பட்டகம் ஒரே ஒரு நிறமாலையைத்தான் தரும். ஆனால், கீற்றணி பல நிறமாலை வரிசைகளைத் தருகின்றன.

(3) கீற்றணியில் மைய பிம்பம் (Central image) ஒன்று இருப்பதால் ஒளியின் பெரும்பகுதி அப்பிம்பத்தில் வீணாகி விடுகிறது. எனவே நிறமாலைகள் மங்கலாகத் தெரிகின்றன. முதல் வரிசை நிறமாலையை விட இரண்டாம் வரிசை நிறமாலை மிக மிக மங்கலாகக் காணப்படும். ஆனால் முப்பட்டக நிறமாலையில் மையப் பிம்பம் என்ற ஒன்று இல்லை. மேலும் ஒரே ஒரு நிறமாலைதான் உண்டாகிறது. எனவே நிறமாலை மிக மிகப் பொலிவுடன் விளங்குகிறது.

(4) முப்பட்டக நிறமாலையில் ஊதா நிறம் மிக அதிக திசை மாற்றக் கோணத்துடனும், சிவப்பு நிறம் குறைந்த திசை மாற்றக் கோணத்துடனும் தெரிகின்றன ஆனால் கீற்றணியில் ஒளியின் விளிம்பு விளைவு கோணம், ஒளியின் அலை நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால், ஊதா நிறம் குறைந்த திசை மாற்றக் கோணத்துடனும், சிவப்பு அதிக திசை மாற்றக் கோணத்துடனும் காணப்படுகின்றன.

(5) கீற்றணியில் காணப்படும் பல நிறமாலை வரிசைகள் ஒன்றின் மீது ஒன்று ஏறி காணப்பட்டுக் குழப்பங்கள் ஏற்படுத்த இடமுண்டு. முப்பட்டக நிறமாலையில் இத்தகைய குழப்பம் ஏற்பட வழியில்லை.

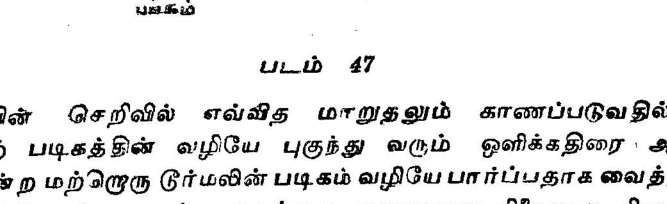
(6) கீற்றணி அதிகப் பிரிதிறனும், பகுதிறனும் கொண்டது. அதனுடன் ஒப்பிட்டால் முப்பட்டகத்தின் பிரிதிறனும், பகுதிறனும் மிகவும் குறைவே ஆகும்.

10. தள விளைவு
(Polarisation)

குறுக்கீட்டு விளைவு (interference), விளிம்பு விளைவு (diffraction) ஆகிய நிகழ்ச்சிகள் ஒளியின் அலைப் பண்பினை நிலை நிறுத்தின என்றாலும் அவ்வலையின் வகையினைப் பற்றி ஏதும் விளக்கவில்லை. ஒளி அலைகள் நெட்டலைகளா (longitudinal) அல்லது குறுக்கு அலைகளா (transverse) என்பது பற்றி ஆராயவில்லை. தளவிளைவு (polarisation) என்ற இந் நிகழ்ச்சி ஒளி அலைகள் குறுக்கு அலைகளே என்பதை வெளிப்படுத்தியது.

தள விளைவு (Polarisation)

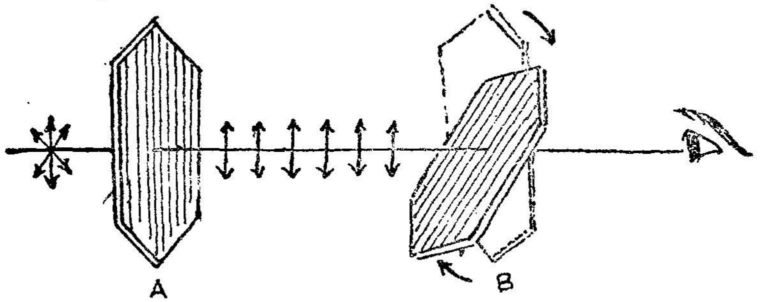
ஒளி விலக்கம் செய்யும் தளம் அதன் படிகவியல் அச்சுக்கு இணையாக இருக்குமாறு வெட்டப்பட்ட டூர்மலின் (tourmaline) படிகம் ஒன்றின் வழியே ஒளியூட்டப்பட்ட மெல்லிய பிளவு (slit) ஒன்றை நோக்குவதாக வைத்துக்கொள்வோம். படுகதிரை அச்சாகக் கொண்டு படிகத்தைச் சுழற்றினால் நாம் காணுகின்ற



படம் 47

ஒளியின் செறிவில் எவ்வித மாறுதலும் காணப்படுவதில்லை. முதற் படிகத்தின் வழியே புகுந்து வரும் ஒளிக்கதிரை அதே போன்ற மற்றொரு டூர்மலின் படிகம் வழியே பார்ப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். முதல் படிகத்தை அசையாது நிலையாக நிறுத்தி

வைத்துவிட்டு, இரண்டாவது படிகத்தை (B) படுகதிரை அச்சாகக் கொண்டு சுழற்றினால் ஒரு நிலையில் நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு பெரும நிலை (Maximum) அடைகிறது. படிகத்தை மேலும் சுழற்றினால் செறிவு சிறிது சிறிதாகக் குறைந்து பெரும நிலையிலிருந்து 90° திருப்பப்படும்போது செறிவு சுழியாகிப் போகிறது. மேலும், தொடர்ந்து சுழற்றினால் செறிவு சிறிது சிறிதாக அதிகரித்துப் படிகம் 180° சுழற்றப்பட்டவுடன் மீண்டும் ஒளியின் செறிவு பெரும நிலையை அடைகிறது, சுழற்சி தொடர 270°–ல் மீண்டும் செறிவு சுழியாகி 360° சுழற்றியவுடன்



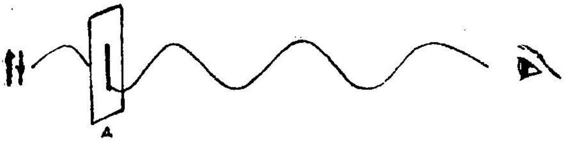
படம் 48

மறுபடியும் பெரும நிலையை அடைகிறது. இச் சோதனையிலிருந்து டூர்மலின் படிகம் வழியே புகுந்து வெளிவரும் ஒளி சாதாரண ஒளியிலிருந்து மாறுபட்டு ஒரு புதிய பண்பினை அடைகிறது என்பதை அறிகிறோம். முதற் படிகத்திலிருந்து வெளிவரும் ஒளி சமதள விளைவுற்றதாக (plane polarised) கூறுகிறோம். இவ் விளைவினால், அவ்வொளி இரண்டாவது படிகத்தின் வழியாக, அதன் எல்லா நிலைகளிலும் எளிதாகச் செல்ல முடிவது இல்லை. மேலும் இரண்டாவது படிகத்தின் குறிப்பிட்ட ஒரு நிலையில் ஒளி அதன் வழியே செல்லவே முடியாமற் போய்விடுகிறது. இப் புதிய நிகழ்ச்சியினைத் துகள் கொள்கை கொண்டு விளக்க இயலாது.

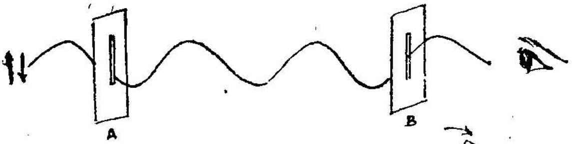
கயிற்று உவமை (Rope analogy)

விருவாக இழுத்துக்கட்டப்பட்ட கயிறு ஒன்று அட்டையில் வெட்டப்பட்ட நீண்ட குறுகலான பிளவு ஒன்றின் வழியே செல்வதாகக் கொள்வோம். கயிற்றின் கட்டப்படாத நுனியைக் கையில் பிடித்தபடி மேலும் கீழுமாக அசைத்தால், கயிற்றில் அலைகள் உண்டாகும். கயிற்றின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக எந்தத் திசையில் கையை அசைத்தாலும் மேற்கூறிய அலைகள் உண்டாகும். இவ்வலைகள் குறுக்கு அலைகளாகும். இவ்வலைகள்

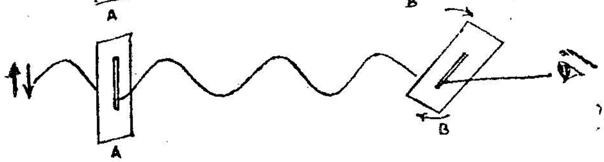
அட்டையில் வெட்டப்பட்ட பிளவினை அடைந்தவுடன் பிளவின் நீளத்திற்கு இணையாக அதிர்வுகள் இருக்கும்போதுமட்டுமே அலைகள் அதைத் தாண்டிச் செல்கின்றன.



படம் 49a



படம் 49b



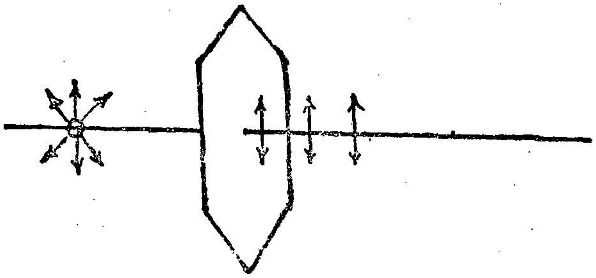
படம் 49c

இந் நிலையில் கயிற்றில் B என்ற மற்றுமொரு அட்டையில் வெட்டப்பட்ட பிளவு வழியாகவும் கயிற்றைச் செலுத்தி இரண்டாவது பிளவு சுழற்றப்படும்போது ஏற்படும் விளைவுகளை ஆராய்வோம். B என்ற பிளவு A என்ற பிளவிற்கு இணையாக இருக்கும்போது A வழியே சென்ற அலைகள் B வழியாகவும் தடையேதுமில்லாமல் செல்கின்றன. இப்போது E என்ற இடத்தில் கண்ணை வைத்து நோக்கினால் கயிற்றின் வீச்சுமுழுவதும் நம் கண்ணுக்குத் தெரியும்.

A–ஐ அசையாமல் நிறுத்தி விட்டு, B–ஐ மெதுவாகச் சுழற்றினால் பிளவின் நீளத்திற்கு இணையாய் அமைந்த அதிர்வின் கூறு மட்டுமே B–ஐத் தாண்டிச் செல்லும். B–ன் போக்கு A–ன் போக்கிற்கு 90° திருப்பப்படும்போது B-ஐத் தாண்டி அதிர்வுகள் செல்வதில்லை.

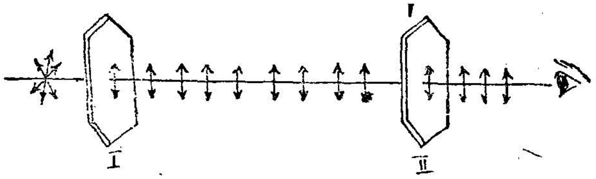
மேற்கூறிய உவமையில் கண்ட அட்டையில் வெட்டப்பட்ட பிளவுகளின் இடத்தில் இரு டூர்மலின் படிகங்களையும் கயிற்றின் இடத்தில் ஈதர்துகள் வழியே செல்லும் ஒளியையும் வைத்து நோக்குவோம். ஒளி ஓர் இடத்திலிருந்து இன்னோர் இடத்திற்குச் செல்லும்போது இடையே உள்ள ஈதர்துகள்கள் சீரிசை இயக்கத்துடன் அலைவுறுகின்றன. ஒளியின் போக்கிற்குச் செங்குத்

தாக எல்லாத் திசைகளிலும் அவை அதிர்வுறுகின்றன. முதல் டூர்மலின் படிகத்தின் மீது சாதாரண ஒளி விழுந்தவுடன் படிகம் அதன் முதன்மை தளத்திற்கு (principal plane) இணையாக அமைந்த அதிர்வுக் கூறுகளை (component vibrations) மட்டும் அதன் வழியே செல்ல அனுமதிக்கிறது. எனவே படிகத்தைக் கடந்து வந்த ஒளியில் ஒரு தளத்தில் அதிர்வுறும் குறுக்கு அலைகள் மட்டுமே காணப்படும். படிகத்தின் முதன்மைத் தளம்



படம் 50

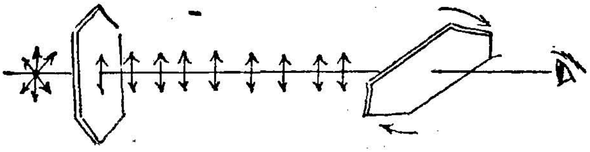
என்பது முதல் அட்டையில் உள்ள பிளவினைப் போன்றிருக்கிறது. இவ்வாறு ஒரு தளத்தில் அதிர்வுறும் நிலையடைந்த அலைகள் இரண்டாவது படிகத்தின் மீது விழுந்தவுடன் அப் படிகம் அதன் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாய் அமையும் அலைக் கூறுகளை மட்டுமே தன்னைக் கடந்து செல்ல அனுமதிக்கிறது. இரண்டாவது படிகத்தின் முதன்மைத் தளம் அதிர்வுக்கு இணையாய் இருக்கும் போது அலையின் முழுப்பகுதியும் அதைக் கடந்து செல்கிறது.



படம் 51

எனவே, இரண்டாவது படிகத்தின் வழியே காணும் ஒளி பெருமச் செறிவுடன் (maximum intensity) காணப்படுகிறது. இரண்டாவது படிகத்தைச் சுழற்றிக் கொண்டே செல்லச் செல்ல அதன் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாய் அமைந்த கூறுகள் குறைந்து கொண்டே செல்வதால் காணும் ஒளியின் செறிவும் குறைந்து கொண்டே செல்கிறது. இரண்டாவது படிகம் பெருமச் செறிவு நிலையிலிருந்து 90° திருப்பப்பட்டவுடன் அதன் முதன்மைத் தளத்

திற்கு இணையாய் அமைந்த கூறுகளே இல்லையாதலால் ஒளி அலையின் சிறுபகுதி கூட அதைத் தாண்டிச் செல்வதில்லை. எனவே, நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு சுழியாகிறது. எனவே, இரு படிகங்களின் முதன்மைத் தளங்கள் ஒன்றுக் கொன்று

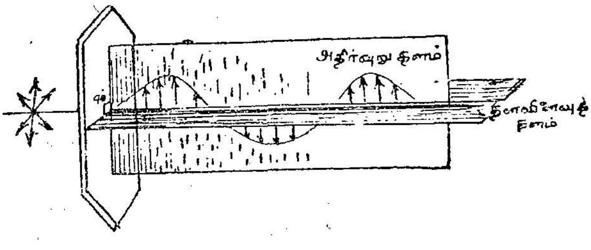


படம் 52

இணையாக இருக்கும்போது இரண்டாம் படிகத்தைக் கடந்து வரும் ஒளி பெருமச் செறிவுடன் இருக்கிறது என்றும், முதன்மைத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாய் அமையும்போது சுழிச் செறிவு (zero intensity) உண்டாகிறது என்றும் அறிகிறோம்.

தளவிளைவுத் தளம் ;

சமதள விளைவுற்ற ஒளியில் ஈதர் துகள்கள் அதிர்வுறும் தளம் அதிர்வுறு தளம் (Plane of vibration) எனப்படும். அதிர்வுறும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்த தளம் தளவிளைவுத் தளம் (plane of polarisation) எனப்படும். சமதள விளைவுற்ற ஒளியில்



படம் 53

ஈதர் துகள்கள் நேர்க்கோட்டில் அதிர்வுறுகின்றன. ஈதர் துகள்கள் வட்ட இயக்கம் புரியுமாயின் அவ்வொளி வட்டத்தள ஒளி (circularly polarised light) என்றும், ஈதர் துகள்கள் நீள்வட்ட இயக்கம் புரியுமாயின் அது நீள்வட்டத்தள ஒளி (elliptically polarised light) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

கயிற்று உவமையில் கயிற்றுக்குப் பதிலாக நீண்ட சுருள் கம்பியை (spiral spring) பயன்படுத்துவதாக வைத்துக் கொள்வோம். சுருளை அதன் போக்கில் அசைத்தால் அதில் நெடுக்கு

அலைகள் உண்டாவதைப் பார்க்கலாம். அச்சுருள் தடையின்றிச் செல்வதற்கேற்ற இரு பிளவுகள் வழியே அதைச் செலுத்தி மேற் சொன்ன அதே சோதனையை நிகழ்த்துவோம். இரண்டாவது பிளவைச் சுழற்றுவதால் சுருள் கம்பியில் உண்டாகும் அலை எந்த விதத்திலும் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்று அறிகிறோம். எனவே, ஒளி அலைகள் நெடுக்கு அலை இனத்தைச் சேர்ந்தனவாக இருப்பின் இரண்டாவது படிகத்தைச் சுழற்றுவதனால் அதன் செறிவில் மாற்றம் ஏற்பட்டிருக்காது. ஆகவே ஒளி அலைகள் குறுக்கு அலை களின் இனத்தைக் சேர்ந்தன என அறிகிறோம்.

எதிரொளிப்பினால் உண்டாகும் தளவிளைவு

மாலஸ் (Malus) என்பார் 1808ஆம் ஆண்டில் சாதாரண ஒளி, பிரதிபலித்தலினால் தளவிளைவுடைய ஒளியாகும் எனக் கண்டார். சாதாரணக் கண்ணாடி போன்ற தளத்தில் பகுதி எதிரொளிப்புக்கு உள்ளான ஒளிக் கற்றையை ஒரு டூர்மலின் படிகத்தின் வழியாகப் பார்த்தால் அது தள விளைவுற்று இருப் பதைக் காணலாம். படிகத்தின் படுகதிரை அச்சாக வைத்துச் சுழற்றும்போது நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு, பெருமநிலையையும் சிறும நிலையையும் அடைவதைக் காணலாம். டூர்மலின் படிகத் தைக் கடந்து வரும் ஒளியின் செறிவு ஒரு பொழுதும் சுழியாவ தில்லை என்பதிலிருந்து அவ்வொளி முற்றிலும் சமதள விளைவுற வில்லை என்றும், ஓரளவே தளவிளைவுற்றிருக்கிறது என்றும் உணர லாம். அஃதாவது இவ்வொளியில் சமதள விளைவுற்ற ஒளியும், சாதாரண ஒளியும் கலந்திருக்கின்றன. இதனைப் பகுதித்தளவொளி (partially polarised light) என்பர். டூர்மலின் படிகத்தைச்சுழற்றும் போது அதைக் கடந்து செல்லும் ஒளியின் செறிவு பெரும நிலையையும், சிறும நிலையையும் அடையுமானால் அவ்வொளியைப் பகுதித் தள ஒளி என்று கூறுகிறோம்.

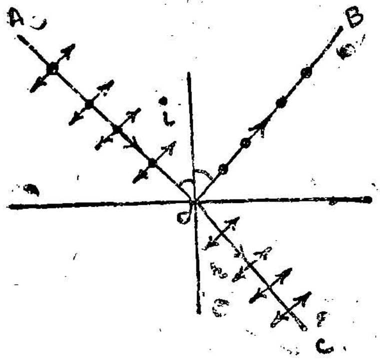
கண்ணாடித் தகட்டினால் ஒளி எதிரொளிக்கப்படும்போது ஏற் படும் தளவிளைவின் அளவு படுகோணத்தைச் சார்ந்திருப்பது தெரிந்ததே. சுழியிலிருந்து தொடங்கிப் படுகோணத்தை அதிகரித் துக் கொண்டே சென்றால், தளவிளைவுறும் ஒளியின் விழுக்காடு (percentage) அதிகரித்துக் கொண்டே செல்வதையும், குறிப்பிட்ட ஒரு படுகோண மதிப்பிற்கு அவ் விழுக்காடு பெரும எல்லையை எட்டுவதையும், அதன் பிறகும் படுகோணத்தை அதிகரித்தால் தளவிளைவுறும் ஒளியின் விழுக்காடு குறைவதையும் கண்டனர். மிகுந்த அளவில் ஒளி தள விளைவுறுவதற்கு ஏற்ற படுகோணத்

தைத் தளவிளை கோணம் (Polarising angle) என்பர். கண்ணாடியின் தளவிளை கோணம் $57^\circ 30'$ ஆகும்.

ப்ரூஸ்டர் விதி (Brewster's law)

ஒளிபுகும் ஊடகத்தளம் ஒன்றினால் ஒளி எதிரொளிக்கப்படும் போது தளவிளை கோணத்தின் tan மதிப்பு அவ்வூடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணுக்குச் சமமாகும்; அஃதாவது i என்பது தள விளைகோணம் என்றால் $\tan i = \mu$ ஆகும்.

தளவிளை கோணத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிருக்கும் விலக்கமுற்ற கதிருக்கும் இடையே 90° இருக்கும். அஃதாவது எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிரும் விலக்கமுற்ற கதிரும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கும்.



AO : படுகதிர்

OB : பிரதிபலித்த கதிர்

OC : விலக்கமுற்ற கதிர்

$\angle BOC = 90^\circ$

படம் 54

$$\mu = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} \quad \text{(ஸ்நெல் விதிப்படி)}$$

$$\mu = \tan i = \frac{\text{Sin } i}{\text{Cos } i} \quad \text{(ப்ரூஸ்டர் விதிப்படி)}$$

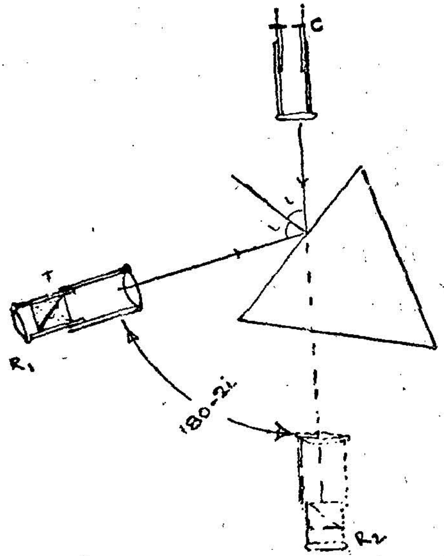
எனவே இவற்றிலிருந்து,

$$\begin{aligned} \text{Sin } r &= \text{Cos } i \\ &= \text{Sin } (90 - i) \\ \therefore \quad r &= 90 - i \\ i + r &= 90^\circ \\ \angle BOC &= 180 - (i + r) \\ &= 180 - 90^\circ \\ &= 90^\circ \end{aligned}$$

ஆகவே தளவிளை கோணத்தில் ஒளி எதிரொளிக்கப்படும் போது எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிருக்கும் விலக்கமுற்ற கதிருக்கும் இடையே 90° இருக்கும்.

ப்ரூஸ்டர் விதியை மெய்ப்பித்தல்
(Verification of Brewster's law)

நிறமாலைமானி (spectrometer) இணைக்கதிர்களை ஏற்பதற்குத் தக்கவாறு சீர் செய்யப்பட்ட பின்பு முப்பட்டக மேடையின் மீது முப்பட்டகத்தை வைக்கவேண்டும். தொலைநோக்கியில் நைகால் (nicol—இதன் அமைப்பைபற்றிப் பின்னல் பார்ப்போம்) ஒன்றைப் பொருத்தி வைத்து அதன் வழியே பார்க்கவேண்டும். இணையாக்கியிலிருந்து கிளம்பி முப்பட்டகத்தின் ஏதோ ஒரு முகத்தில் பட்டு எதிரொளித்த ஒளிக்கற்றைகளைத் தொலைநோக்கியின் மூலமாகப் பார்ப்போம். எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி பகுதித் தளவொளி ஆதலால் நைகால் சுழற்றப்படும்போது நாம் பார்க்கும்



படம் 55

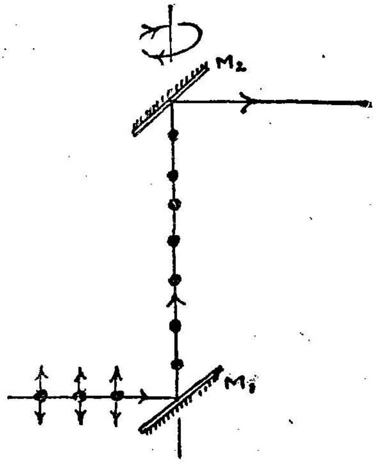
ஒளியின் செறிவு மாறுதலடையும். முப்பட்டகமேடையை திருப்பிப் படுகோணத்தை அதிகரித்து, எந்தப் படுகோணத்திற்கு எதிரொளிப்புக் கதிரின் செறிவு பெரும எல்லையிலிருந்து சுழி நிலையை (மிக மிகக் குறைந்த செறிவு) அடைகிறது என்று கண்டறியலாம்.

முப்பட்டக மேடையை அந் நிலையில் அசையாமல் நிலையாக வைத்துவிட்டு எதிரொளிப்புப் பிம்பத்தின் நிலையான விளிம்புடன் குறுக்கிழையை ஒன்றச்செய்து அளவுக் குறிப்புகள் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர் முப்பட்டகத்தை நீக்கிவிட்டு இணையாக்கியிலிருந்து வரும் இணைக்கற்றையைத் தொலைநோக்கி வழியே நேராகப் பார்த்து அளவுக்குறிப்புகளை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

எதிரொளிப்புக் கதிரைப் பார்த்தபோது எடுத்த அளவு R_1 என்றும் நேர்கதிரைப் பார்த்தபோது எடுத்த அளவு R_2 என்றும் கொண்டால் $R_1 \sim R_2 = 180 - 2i$ ஆகும் என்பது மேலுள்ள படத்திலிருந்து தெரிகிறது. இதைக்கொண்டு i-ன் மதிப்பினை அறியலாம். $\mu = \tan i$ என்னும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்தி முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் காணலாம்.

பயட்—தளவிளைவு காட்டி
(Biot's Polariscope)

இதில் M_1, M_2 என்ற சமதள ஆடிகள் இருக்கின்றன. அவை பளபளப்பாக்கப்பட்ட கருங்கண்ணாடி (black glass) யால் செய்யப்பட்டவை. இதனால் அவற்றின் அடிப்பக்கத்திலுண்டாகும்



படம் 56

எதிரொளிப்பு நீக்கப்பட்டுவிடுகிறது. செங்குத்துக் குழாய் ஒன்றின் கீழ் நுனியில் M_1-ம், மேல் நுனியில் M_2-வும் பொருத்தப்

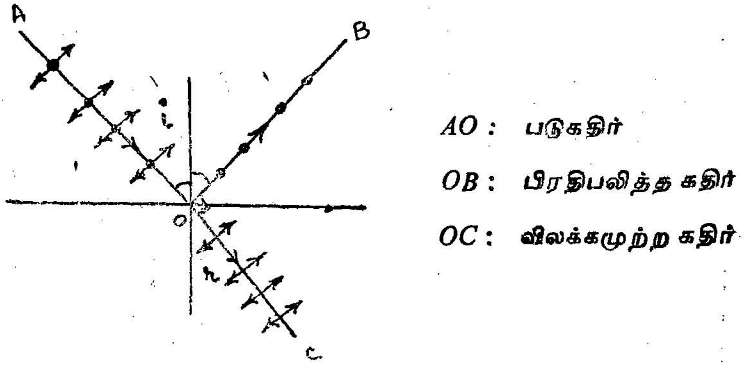
பட்டிருக்கின்றன. அவற்றைக் கிடைமட்ட அச்சிலும், செங்குத்து அச்சிலும் சுழற்ற இயலும்.

ஒளி M_1 என்னும் ஆடியின்மீது கண்ணாடியின் தளவிளை கோணமாகிய 57° 30′-ல் விழுகிறது. இரு ஆடிகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமையுமாறு செய்யப்படுகின்றன. படுகதிரின் அதிர்வுகளைப் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், (ஆடி M_1-ன் தளத்திற்கு இணையாகவும்) படத்தின் தளத்திற்கு இணையாகவும் (ஆடி M_1-ன் தளத்திற்குச் சாய்ந்தும்) உள்ள கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். படத்தில் (56) இணைக் கூறுகளை அம்புக்குறியாலும் குத்துக் கூறுகளைப் புள்ளிகளாகவும் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. M_1-ஐ அடையும் இக் கூறுகளில் செங்குத்துக் கூறுகள் ஆடியின் தளத்திற்கு இணையாக அமைவதால் எளிதில் எதிரொளிப்புறுகின்றன. மற்ற செங்குத்துக் கூறுகள் ஆடியின் தளத்திலிருந்து சாய்ந்துள்ளதால் எளிதில் எதிரொளிப்புறுவதில்லை. எனவே எதிரொளிப்புற்ற ஒளியில் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக அதிர்வுறும் அலைகளே (பெரும்பாலும்) காணப்படுகின்றன. அவ்வதிர்வுகள் M_2-ஐ அடையும்போது M_1-ம், M_2-வும் இணையாக இருப்பின் அவை M_2 என்ற ஆடியாலும் எளிதாக எதிரொளிக்கப்பட்டு, நம் கண்ணுக்குத் தெரிகின்றன. இப்போது M_2-ஐ செங்குத்து அச்சில் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி சுழற்றுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். செறிவு குறைந்து கொண்டே வருவதையும், ஆடி 90° திரும்பியவுடன் செறிவு சுழியாவதையும், 180° திருப்பப்படும்போது மீண்டும் பெருமச் செறிவு நிலை பெறுவதையும் 270° திரும்பும்போது மறுபடியும் செறிவு சுழியாவதையும், 360°-ல் மீண்டும் பெருமச் செறிவடைவதையும் காணலாம். இவ்வமைப்பில் M_1 என்ற ஆடி தளவிளைவு உண்டாக்குவதால் அதை தளவிளைவாக்கி (polariser) என்றும் M_2 என்ற ஆடி அவ்வாறு தளவிளைவுற்ற ஒளியை ஆய்வதால் பகுப்பான் (analyser) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

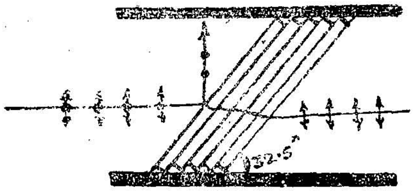
தகட்டடுக்கு (Pile of Plates)

இது மரக்குழாய் ஒன்றினுள் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக ஏழு அல்லது எட்டுக் கண்ணாடித் தகடுகள் அடுக்கப்பட்ட அமைப்பினை உடையது. கண்ணாடித் தகடுகளின் தளம் குழாயின் அச்சிலிருந்து 32° 30′ சாய்ந்திருக்கிறது. எனவே குழாயின் அச்சு வழியாக அவற்றின்மீது விழும் ஒளி தளவிளை கோணத்தில் (57°30′) அவற்றின்மீது விழும். இவ்வாறு ஒளி விழும்போது எதிரொளிப்புறும் ஒளி, தளவிளைவுறுவது போன்றே பகுதி விலக்கமுற்ற ஒளியும் தளவிளைவுற்றே இருக்கும். ஆனால், எதிரொளிப்

புறும் ஒளியின் தளவிளைவுத் தளமும், விலக்கமுறும் ஒளியின் தள விளைவுத் தளமும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்திருக்கும். ஆடியின் தளத்திற்கு இணையான தளத்தில் அதிர்வுறும் கூறுகள் எதிரொளிக்கப்படும் என்று கண்டோம். அவ்வாறு ஆடியின் தளத்திற்குச் சாய்வாக அதிர்வுறும் கூறுகள் விலக்கமுற்ற ஒளியில் காணப்படும். எனவே விலக்கமுற்ற ஒளியும் தளவிளைவுற்றதாகவே இருக்கும்.



படம் 57



படம் 58
தகட்டடுக்கு

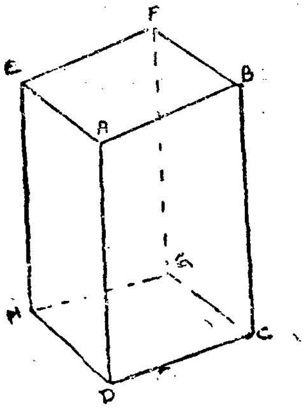
எனவே தகட்டடுக்கில் உள்ள ஒவ்வொரு கண்ணாடித் தகட்டிலும் விலக்கமுற்று வெளிவரும் ஒளி, முற்றிலும் சமதள விளைவுற்றதாக இருக்கும். இதில் அதிர்வுகள் படத்தின் தளத்திற்கு இணையாக இருப்பதால் தளவிளைவுத் தளம் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் இருக்கும்.

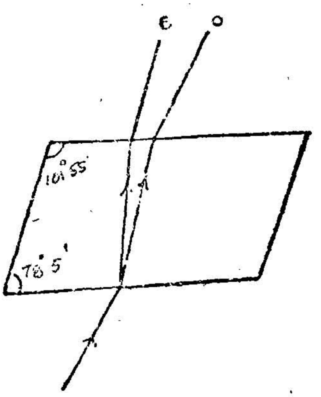
இரட்டை விலகல்
(Double Refraction)

1669-ல் எராஸ்மஸ் பர்தோலிமஸ் (Erasmus Bertholimus) என்னும் டேனிஷ் வேதாந்தி, ஒரு கால்சைட் (calcite) படிகத்தின் வழியாகச் சாதாரண ஒளிக்கதிர் ஒன்றைச் செலுத்தினுல் அஃது

இரு விலகு கதிர்களாகப் பிரிந்து செல்வதைக் கண்டார். அவ்வாறு ஏற்பட்ட விலகு கதிர்களில் ஒன்று ஒளிவிலகல் விதிகட்கு உட்பட்டு நடப்பதையும், மற்றொன்று, ஒளிவிலகல் விதிகட்கு உட்படாமல் இருப்பதையும் கண்டார். இந் நிகழ்ச்சி இரட்டை விலகல் எனப் படும். இது கால்சைட் படிகத்தில் காணப்படுவதுடன் வேறு பல படிகங்களிலும் காணப்படுகிறது.

கால்சைட் என்னும் படிகம், கால்சியம் கார்பொனேட்டின் ஓர் அமைப்பு ஆகும். இது சாய் சதுரப் பட்டை வடிவம் (rhombohedral) உடையது. இதன் ஆறுமுகங்களும் $101°55'$, $78°5'$ கோணங்களையுடைய இணைகரங்களாகும். இப் படிகத்தில் மூலை மாறாக அமைந்த A, G என்னும் மூலைகளில் மூன்று விரி கோணங்கள் சந்திக்கின்றன.





படம் 59

மற்ற மூலைகளில் குறுங்கோணங்களும் விரிகோணங்களும் சந்திக்கின்றன. A அல்லது G என்ற மூலையில் சந்திக்கும் விளிம்புகளிலிருந்து சம அளவில் சாய்ந்துள்ள கோடு அல்லது அதற்கு இணையான கோடு படிகத்தின் ஒளி அச்சு (optic axis) எனப்படும். இதிலிருந்து ஒளி அச்சு என்பது படிகத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையே தவிர குறிப்பிட்ட கோடு அன்று என்று அறிகிறோம். ஒளி அச்சிற்கு இணையாக ஒளி படிகத்தில் படுமானால் இரட்டை விலகல் ஏற்படுவது இல்லை. ஒரே ஒரு ஒளி அச்சு கொண்ட கால்சைட், குவார்ட்ஸ், டூர்மலின் போன்ற படிகங்கள் ஓரச்சுப் படிகங்கள் எனப்படும். ஒளி அச்சுக்கு இணையாகவும் படிகத்தின் எதிர் எதிர்ப் பக்கங்களுக்குச் செங்குத்தாகவும் அமைந்துள்ள தளம் முதன்மைத் தளம் (principal plane) எனப்படும். இம் முதன்மைத் தளம் $ABFE$ என்ற இணைகரத்தில் (மூலைமுகம்) குறுமூலை விட்டமாகிய AF-க்கு இணையாக இருக்கும்.

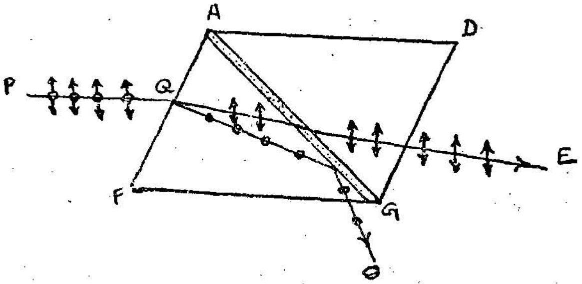
கால்சைட் போன்ற இரட்டை விலகல் உண்டாக்கும் படிகத்தின் வழியே ஒளி மிக்க ஊசித் துளை ஒன்றைப் பார்க்கும்போது இரு விலக்சமுற்ற பிம்பங்கள் தெரியும். நம் பார்வைக் கோட்டை (line of sight) அச்சாக வைத்துப் படிகத்தைச் சுழற்றினால் அப்பிம்பங்களில் ஒன்று அசையாமல் இருப்பதையும் மற்றொன்று அந்நிலை பிம்பத்தைச் சுற்று படிகத்துடன் சேர்ந்து சுற்றி வருவதையும் காணலாம். நிலையான பிம்பம் சாதாரண பிம்பம் (ordinary image) என்றும், சுற்றி வரும் பிம்பம் அசாதாரண பிம்பம் (extra ordinary image) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. சாதாரண பிம்பத்தைத் தருகின்ற கதிர் சாதாரணக் கதிர் (ordinary ray) என்றும் அசாதாரண பிம்பத்தைத் தருகின்ற கதிர் அசாதாரணக் கதிர் (extraordinary ray) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

மேற்கூறியவாறு விலக்கமுற்ற இரு கதிர்களையும் டூர்மலின் படிகத்தைக் கொண்டு ஆராய்ந்தபோது அவை இரண்டுமே சமதள விளைவுற்றிருப்பது காணப்பட்டது. டூர்மலின் படிகத்தின் அச்சு கால்சைட் படிகத்தின் முதன்மைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக அமையும்போது சாதாரணக் கதிர் பெருமச் செறிவுடன் காணப்படுகிறது. அப்போது அசாதாரணக் கதிர் மறைந்து விடுகிறது. (செறிவு சுழியாகிறது). இவ்வாறே டூர்மலின் படிகத்தின் அச்சு கால்சைட் படிகத்தின் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக அமையும்போது. அசாதாரணக் கதிர் பெருமச் செறிவுடன் தோன்ற, சாதாரணக் கதிர் மறைந்து போகிறது. இதிலிருந்து சாதாரணக் கதிரின் அலைவுகள் முதன்மைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும். அசாதாரணக் கதிரின் அலைவுகள் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாகவும் இருக்கின்றன என்றும், சாதாரணக் கதிரும், அசாதாரண கதிரும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்த தளங்களில் தளவிளைவுற்றிருக்கின்றன என்றும் அறிகிறோம்.

நைகால் பிரிசம்
(Nicol prism)

நைகால் பிரிசம் அல்லது நைகால் என்று அழைக்கப்படும். இவ்வமைப்பில் இரட்டை விலகல் நிகழ்ச்சி பயன்படுத்தப்படுகிறது. நைகால் என்பது மிகத் திறன்வாய்ந்த ஒரு தளவிளைவாக்கி (polariser) ஆகும். இதனைப் பகுப்பானாகவும் (analyser) பயன்படுத்தலாம்.

சாய் சதுரப் பட்டை வடிவமுடைய ஒரு படிகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். A D G F என்பது அப் படிகத்தின் முதன்மைத் தளமாகும். முதன்மைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் AG வழியாகச் செல்வதாகவும் அமைந்த ஒரு தளத்தில் அப் படிகத்தை இரு துண்டுகளாக வெட்டவேண்டும்.



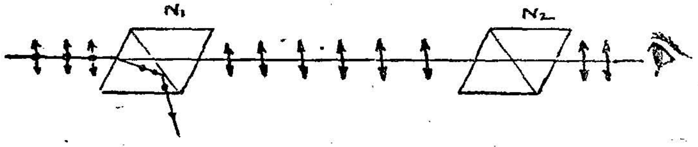
படம் 60

வெட்டுண்ட முகங்களை நன்கு வழவழப்பாக்கிப் பின் கனடா பால்சம் (canada balsam) என்ற பொருளை இடையில் வைத்து மீண்டும் இரு துண்டுகளையும் ஒட்டிப் படிகத்தை உண்டாக்க வேண்டும். இதற்கு இப்போது நைகால் பிரிசம் என்று பெயர்.

PQ என்பது படிகத்தின் AD என்ற பக்கத்திற்கு இணையாகப் படிகத்தின் முனை முகத்தில் விழுகின்ற படுகதிராகும். இக் கதிர் Q என்ற புள்ளியில் இரட்டை விலகலுற்று O என்ற சாதாரணக் கதிராகவும், E என்ற அசாதாரணக் கதிராகவும் பிரிகின்றது. கால்சைட் படிகம் சாதாரண ஒளிக்கு 1·66 என்ற ஒளி விலகல் எண்ணும், அசாதாரண ஒளிக்கு 1·49 என்ற ஒளி விலகல் எண்ணும் கொண்டது. கனடாபால்சம் 1·55 என்னும் ஒளி விலகல் எண் கொண்டது. சாதாரண ஒளியை எடுத்துக் கொண்டால் அஃது அடர்த்தி மிகுந்த ஊடகத்திலிருந்து (கால்சைட் 1·66) அடர்த்தி குறைவான ஊடகத்திற்குள் (கனடா பால்சம் 1·55) செல்ல முயல்கிறது. எனவே முழு அக எதிரொளிப்பிற்கு இடமிருக்கிறது. படிகம் மற்றும் பால்சம் இவற்றிற்கிடையே முழு அக எதிரொளிப்பு நிகழ, மாறுநிலைக் கோணம் 68° ஆகும். சாதாரண ஒளி கனடாபால்சம் தளத்தின் மீது 68°-க்கும் அதிகமான படுகோணத்தில் விழுமாறு செய்யப்படும்போது முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டு அது பக்கவாட்டில் விலக்கப்பட்டுவிடுகிறது. அசாதாரணக் கதிரை எடுத்துக்கொள்வோம். அஃது அடர்த்தி குறைந்த ஊடகத்தில் (கால்சைட் 1·49) இருந்து அடர்த்தி அதிகமான ஊடகத்திற்கு (கனடாபால்சம் 1·55)

செல்ல முயல்கிறது. எனவே முழுஅக எதிரொளிப்பிற்கு இட மில்லை. எனவே அது நைகால் பிரிசத்தைக் கடந்து வெளியே வருகிறது, இவ்வாறு நைகால் வழியாக வரும் ஒளி முற்றிலும் சமதள விளைவுற்ற ஒளியாக இருக்கிறது. இவ் வொளியில் அதிர்வுகள் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக இருக்கின்றன. எனவே தள விளைவுத் தளம் முதன்மைத் தளத்திற்குச் செங்குத் தாக இருக்கிறது. பொதுவாக நைகால் கருமை பூசப்பட்ட ஒரு குழாயினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். பக்கவாட்டில் திருப்பப்பட்ட சாதாரண ஒளியை அஃது உறிஞ்சிவிடும்.

எந்த ஒரு தளவிளைவாக்கியையும் ஒரு பகுப்பானுகப் பயன் படுத்தலாம். ஆகவே நைகாலை ஒரு தளவிளைவாக்கியாகவும், பகுப்பானுகவும் பின்வருமாறு பயன்படுத்தலாம்.



படம் 61

S என்ற ஒளித் தோற்றுவாயில் இருந்து கிளம்பும் இணைக் கற்றை சாதாரண ஒளி ஆகும். அது N_1 என்ற நைகாலில் இரட்டை விலகல் அடைகிறது. இரட்டை விலகலில் உண்டான சாதாரணக் கதிர் கனடாபால்சம் தளத்தில் முழுஅக எதிரொளிப் புற்றுப் பக்கவாட்டில் ஒதுக்கப்பட்டு விடுகிறது. அசாதாரண ஒளி N_1-ஐக் கடந்து வெளிச் செல்கிறது.

N_1-ஐக் கடந்து வரும் இவ்வொளியின் அதிர்வுகள் அதன் முதன்மைத் தளத்திற்கு (படத்தின் தளத்தில்) இணையாக இருக் கின்றன. N_2 என்ற நைகாலின் முதன்மைத்தளம் N_1-ன் முதன் மைத் தளத்திற்கு இணையாக இருப்பின் இவ்வலை தடங்கலின்றி N_2-ஐக் கடந்து பெருமச் செறிவுடன் நம் கண்களுக்குத் தோன்றும். பார்வைக் கோட்டை அச்சாக வைத்து N_2-ஐச் சுழற்றினுல் N_2-ஐக் கடந்து வரும் ஒளியின் செறிவு குறையத் தொடங்குகிறது N_2-ஐ 90° சுழற்றப்பட்டவுடன் அதன் முதன்மைத்தளம், N_1-ன் முதன்மைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக அமைகிறது. அப்போது சிறப்புக் கதிர் N_1-ஐக் கடந்து செல்ல முடியாமற்போகிறது எனவே, நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு சுழியாகிறது, பின் நைகாலை மேலும் தொடர்ந்து சுழற்றச் செறிவு சிறிது சிறிதாக அதிகரித்து 180° சுழற்றியவுடன் மீண்டும் பெரும நிலையை

அடைகிறது. மீண்டும் சுழற்றச் செறிவு குறையத் தொடங்கி 270° சுழிச் செறிவினையும் 360° பெருமச் செறிவினையும் அடையும். இவ்வாறு மேற்கூறிய அமைப்பில் N_1 என்ற நைகால் தள விளைவாக்கியாகவும் N_2 என்ற நைகால் பகுப்பானாகவும் செயற்படுகின்றன.

பொலராய்டு
(Polaroid)

இஃது ஒரு தளவிளைவாக்கி ஆகும். இது குவினைன் சல்பேட்-பெர் ஐயோடைடு படிகம் ஆகும். இஃது இரட்டை விலகல் உண்டாக்கும் பண்புடையது. மேலும் அத்தகைய இரட்டை விலகலின் போது உண்டாகும் சாதாரணக் கதிரை உறிஞ்சிக் கொண்டு சிறப்புக் கதிரை மட்டும் வெளிவிடும் குணமும் இதற்கு உண்டு. டூர்மலின் படிகமும் இதே போன்று இரட்டை விலகல் பண்புடன். சாதாரணக் கதிரை உறிஞ்சிக் கொண்டு சிறப்புக் கதிரை மட்டும் வெளிவிடும் பண்பும் கொண்டிருக்கிறது.

டூர்மலின் படிகம் வெளிவிடுகின்ற சிறப்புக் கதிருக்குப் பசுமை நிற ஒளியைத் தருகிறது. ஆனால் பொலராய்டு தான் வெளிவிடும் சிறப்புக் கதிருக்கு நிறம் ஏதும் தருவதில்லை. மேலும் பொலராய்டு மிகவும் குறைந்த விலையில் கிடைக்கும்.

பலவகையான தளவிளைவுற்ற ஒளிகளை இனங்கண்டு அறிதல்

1. தளவிளைவுறாத சாதாரண ஒளியை நைகால் ஒன்றின் வழியாகப் பார்த்துக் கொண்டே, பார்வைக் கோட்டை அச்சாகக் கொண்டு நைகாலைச் சுழற்றினால் செறிவு மாற்றம் ஏதும் ஏற்படுவதில்லை. வட்டத்தள விளைவுற்ற ஒளியும் இது போலவே செறிவு மாற்றம் காட்டுவது இல்லை. இவை இரண்டையும் எவ்வாறு பிரித்து அறிவது? நைகால் வழியே பார்க்கும் ஒளிக்குக் குறுக்கே ஒரு கால் அலைத்தகட்டை (quarter waveplate) வைத்தால் வட்டத்தளவிளைவுற்ற ஒளி, சமதள விளைவுற்ற ஒளியாக மாறி விடும். எனவே நைகாலைச் சுழற்றினால் செறிவு மாற்றங்கள் காணப்படும். ஆனால் தளவிளைவுறாத ஒளி, கால் அலைத் தகட்டினால் மாற்றம் உறுவது இல்லை. எனவே அதில் செறிவு மாற்றம் ஏதும் இருக்காது.

2. ஒரு நைகால் வழியாக ஓரளவு சமதள விளைவுற்ற ஒளியைப் பார்த்துக் கொண்டு, நைகாலைச் சுழற்றினால் செறிவு பெரும எல்லைக்கும், சிறும எல்லைக்கும் செல்வதைக் காணலாம். ஒருபோதும்

செறிவு சுழி நிலைக்குச் செல்லாது. இதேபோன்று நீள் வட்டத்தள ஒளியும் நடந்து கொள்கிறது. இவை இரண்டையும் பகுத்துணர்வது எப்படி? நாம் பார்க்கும் ஒளிக்கும் நைகாலுக்கும் இடையே ஒரு கால் அலைத் தகட்டை வைத்தால், அது நீள் வட்டத்தள ஒளியாக இருப்பின் சமதள விளைவுற்ற ஒளியாக மாறிவிடும். எனவே நைகாலைச் சுழற்றும்போது செறிவு பெருமநிலைக்கும் சுழி நிலைக்கும் மாறிமாறிச் செல்வதைக் காணலாம். ஆனால் கால் அலைத் தகட்டினால் பகுதி தளவொளி எந்த மாற்றமும் அடைவது இல்லை. எனவே அதன் செறிவு ஒரு போதும் சுழிநிலையை அடையாது.

ஒளியியல் சுழற்சி
(Optical rotation)

N_1 மற்றும் N_2 என்ற இரு நைகால்கள் ஒன்றுக்கொன்று குறுக்காக வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்று கொள்வோம். அஃதாவது N_1-ன் முதன்மைத்தளம் N_2-ன் முதன்மைத்தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது. N_1 வழியாகச் சாதாரண தள விளைவுறாத ஒளியை அனுப்பினால் அது சமதள விளைவுற்ற ஒளியாக மாறும். அவ்வொளியின அதிர்வுகள் N_1-ன் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும். N_2-ன் முதன்மைத் தளம் இவ் வதிர்வுகளுக்குச் செங்குத்தாக இருப்பதால் இவை N_2 வழியாகச் செல்ல இயலாது. எனவே N_2 வழியாக நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு சுழியாகும். (அஃதாவது ஒளி தெரியாது) ஒளி அச்சுக்குச் செங்குத்தாக வெட்டப்பட்ட முகத்தை உடைய மெல்லிய குவார்ட்ஸ் தகடு ஒன்றை N_1 மற்றும் N_2 இவற்றிற்கு இடையே வைத்து இப்போது N_2 வழியே பார்த்தால் ஓரளவு செறிவுடைய ஒளி தெரிகிறது. இப்போது ஒளி ஏன் தெரிகிறது? N_2-ஐ அடையும் ஒளியின் தன்மை மாறிவிட்டதா? என்ற கேள்வி எழுகிறது. N_2-ஐ மெதுவாகச் சுழற்றினால் மறுபடியும் அவ்வொளி மறைந்து சுழிச் செறிவு உண்டாகிவிடுகிறது. நாம் சுழற்றிய சிறிய கோண அளவு θ என்போம். இந் நிலையிலிருந்து சரியாக $90°$ அளவு N_2-ஐச் சுழற்றினால் நாம் காணும் ஒளியின் செறிவு பெரும நிலையையும் $180°$ சுழற்றும்போது சுழிச் செறிவினையும் அடைவதைப் பார்க்கிறோம். எனவே N_2-ஐ அடையும் ஒளி சமதள விளைவுற்ற ஒளிதான் என்றும், ஆனால் அதன் தளவிளைவுத் தளம் குவார்ட்ஸ் தகட்டினால் $\theta°$ திருப்பப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும் உணர்கிறோம். இவ்வாறு ஒளியின் தன்மையினை மாற்றாமல் அதன் தளவிளைவுத் தளத்தினை மட்டும் குறிப்பிட்ட கோண அளவில் சுழற்றுகின்ற நிகழ்ச்சியினை ஒளியியல் சுழற்சி என்கிறோம்.

இந்த ஒளியியல் வினை (optical activity) என்றும் அழைக்கப் படுகிறது. இதனை விளைவிக்கும் பொருள்களுக்கு ஒளியியல் வினைப் பொருள்கள் (optically active substances) என்று பெயர். இந்நிகழ்ச்சி, ஒளி அப்பொருள்களின் ஒளியியல் அச்சுக்கு இணையாகச் செல்லும்போதுமட்டுமே உண்டாகிறது. மேலும் உண்டாக்கும் ஒளியியல் சுழற்சியின் அளவு அப்பொருளின் தடிப்பு (thickness), கடந்து செல்லும் ஒளியின் அலை நீளம், பொருளின் இயல்பு மற்றும் வெப்ப நிலை ஆகியவற்றைப் பொருத்திருக்கின்றது. சில பொருள்கள் தளவிளைவுந் தளத்தினை வலப் பக்கமாகவும், சில இடப் பக்கமாகவும் சுழற்றுகின்றன. ஒளிவரும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் நாம் பார்க்கையில் சுழற்சி கடிகார முள் திசையில் இருந்தால் அது வலக்கைச் சுழற்சி (right handed) என்றும் கடிகார முள் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் இருந்தால் இடக்கைச் சுழற்சி (left handed) என்றும் கூறுவர். எனவே ஒளியியல் வினைப் பொருள்களை வலச் சுழற்சிப் பொருள்கள் என்றும் இடச் சுழற்சிப் பொருள்கள் என்றும் இருவகையாகப் பிரிக்கலாம்.

டர்பன்டைன் (turpentine), டார்டாரிக் அமிலம் (tartaric acid) மற்றும் கரும்புச் சர்க்கரைக் கரைசல் ஆகிய திரவங்கள் ஒளியியல் சுழற்சியுடையவை.

பயட் கூறிய பட்டறி விதிகள்

(Biot's empirical laws)

(i) ஓர் ஒளியியல் வினைப் பொருள் தரும் சுழற்சிக் கோணத்தின் அளவு ஒளி கடந்து செல்லும் கரைசலின் நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். அஃதாவது $\theta \propto l$

(ii) சுழற்சிக்கோணம் θ. அக் கரைசலின் செறிவிற்கு (concentration) நேர் விகிதததில் இருக்கும். அஃதாவது $\theta \propto c$

(iii) சுழற்சிக் கோணம் θ அக் கரைசலின் வழிச் செல்லும் ஒளியின் அலை நீள இரு மடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

அஃதாவது $\theta \propto \dfrac{1}{\lambda^2}$

(iv) சுழற்சிக் கோணம் θ அக் கரைசலின் வெப்ப நிலைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். இவற்றிலிருந்து.

குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய ஒளியைக் குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையிலுள்ள திரவக் கரைசலின் வழியே அனுப்பினால் அப்போது உண்டாகும் சுழற்சிக் கோணம்,

$$\theta \propto c\,l \text{ என்றறிகிறோம்.}$$

$\therefore\ \theta = P\,c\,l$ ஆகும் இங்கு P என்பது ஒருவிகித மாறிலி ஆகும். இதனைத் தன் திருப்பு எண் (specific rotatory power) என்பர்.

தன் திருப்பு எண்

ஓர் அலகுக் கரைசல் செறிவும், ஒரு டெசி மீட்டர் நீளமும் கொண்ட ஒரு கரைசல், தள விளைவுத் தளத்தினை எவ்வளவுக் கோண அளவில் திருப்புகிறதோ அது அக் கரை பொருளின் (solute) தன்திருப்பு எண் எனப்படும்.

மேற்கூறிய வரையறையின்படி $\theta = \dfrac{P \cdot c \cdot l}{10}$ ஆகும். இங்கு ஊடகத்தின் நீளம் l செ.மீ. ஆகும். அஃதாவது $\dfrac{l}{10}$ டெசிமீட்டர். M கிராம் பொருளை V க. செ. மீ. நீரில் கரைத்தால் $c = \dfrac{M}{V}$ ஆகும்.

எனவே,

$$\theta = \frac{PMl}{10V} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } P = \frac{10V\theta}{Ml}$$

மூலக்கூறு திருப்பு எண் (Molar rotatory power)

ஒரு பொருளின் தன் திருப்பு எண் மற்றும் அப் பொருளின் மூலக்கூறு எடை (Molecular weight) இவை இரண்டின் பெருக்குத் தொகை மூலக்கூறு திருப்பு எண் எனப்படும்.

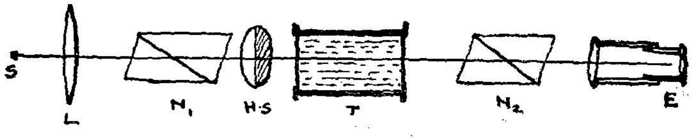
பொலாரி மீட்டர் அல்லது சர்க்கரை மீட்டர் (Polarimeter or Sacchari meter)

பொருள்களின் தன் திருப்பு எண் காணப் பயன்படும் கருவி பொலாரி மீட்டர் எனப்படுகிறது. ஒன்றுக்கு ஒன்று குறுக்காக வைக்கப்பட்டிருக்கும் இரு நைகால்களுக்கு இடையே ஒளியியல்

விளைதரும் பொருளை வைத்துப் பின் பகுப்பானைப் பயன்படும் நைகாலை θ கோண அளவில் திருப்பி, மறுபடியும் சுழிச் செறிவு உண்டாக்கி θ ஐ அளவிட்டு அதைக் கொண்டு பொருளின் சுழற்சி எண் காண்பது எளிது என்று தோன்றலாம். சுழிச் செறிவு நிலைக்கான சரியான இடத்தைக் காண்பது எளிதன்று. எனவேதான் θ ஐ அளவிடுவதற்கு மிகவும் நுண்ணிய அமைப்பு கொண்ட பொலாரி மீட்டர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

லாரென்ஸ் - அரை நிழல் பொலாரி மீட்டர்
(Laurent's Half-Shade Polarimeter)

S என்னும் பிளவின் வழியாக வரும் ஒற்றை வண்ண ஒளி L என்னும் குவி வில்லையினால் இணைக்கற்றையாக்கப்பட்டு N_1 என்ற தளவிளைவாக்கியை அடைகிறது. N_1 என்ற நைகால் அவ்வொளியைச் சமதள விளைவுற்ற ஒளியாக்கி வெளியே அனுப்புகிறது. சமதள விளைவுற்ற ஒளி HS என்ற அரை நிழல் அமைப்பைக் கடந்து செல்கிறது. (அரை நிழலின் அமைப்பும் செயற்படும் விதமும் பின்னர் விளக்கப்படும்.) அரை நிழலைக் கடந்த ஒளி T என்ற குழாயிலுள்ள ஒளியியல் வினை கரைசலின் வழியே செல்கிறது. இங்கு இதன் தளவிளைவுத்தளம் திருப்பப்படுகிறது பின்னர் இவ்வொளி N_2 என்ற நைகாலின் உதவியால் பகுத்து ஆயப்படுகிறது. E என்பது நாம் பிம்பத்தைக் காண்பதற்கு உதவும் கண்ணருகு அமைப்பாகும்.



படம் 62

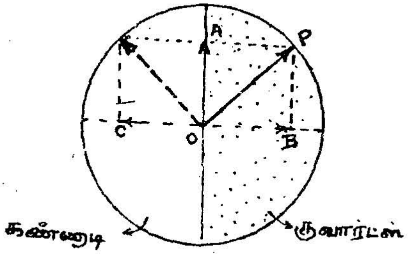
பகுப்பானாகிய N_2 என்ற நைகாலும் கண்ணருகு அமைப்பும் ஒரு குழாயினுள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. நைகாலைச் சுழற்றவும், அவ்வாறு சுழற்றப்படும் போது அதனை அளவிடுதற்கும் ஏற்ற வட்ட அளவுகோலும், அதற்கேற்ற வர்னியரும் பொருத்தப்பட்ட கைப்பிடி ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

அரை நிழல் (Half Shade)

இவ்வமைப்பில் ஒளியியல் அச்சுக்கு இணையாக வெட்டப்பட்ட பக்கத்தைக் கொண்ட ஓர் அரைவட்ட வடிவ குவார்ட்ஸ் தகடும்

ஓர் அரை வட்ட வடிவக் கண்ணாடித் தகடும் இருக்கின்றன. குவார்ட்ஸ் தகடு எவ்வளவு ஒளியை உறிஞ்சுகிறதோ அதே அளவு ஒளியை உறிஞ்சுமாறு கண்ணாடித் தகட்டின் தடிப்பு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

படம் 63-ல் OP என்பதால் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் வீச்சினைக் கொண்ட சமதள விளைவுற்ற ஒளியொன்று அரை நிழலின் மீது படுவதாகக் கொள்வோம். அது கண்ணாடித் தகட்டின் வழியாக எவ்வித மாற்றமுமின்றி வெளி வருகிறது. ஆனால் குவார்ட்ஸ் தகட்டில் விழும் OP என்ற அதிர்வு முதன்மைத் தளத்தின் போக்கிலும் அதற்குச் செங்குத்தாகவும் அமைந்த OA மற்றும் OB என்ற இரு அதிர்வுகளாக பிரிக்கப்படுகிறது, ஒளி செங்குத்தாகக் குவார்ட்ஸ் தகட்டின் மீது விழுவதால் அவ்விரு கூறுகளும் அதே பாதையில் குவார்ட்ஸ் தகட்டைக் கடக்கின்றன. எனினும்

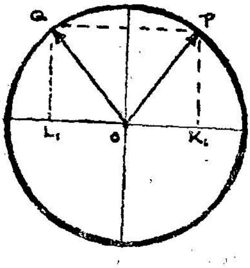


படம் 63

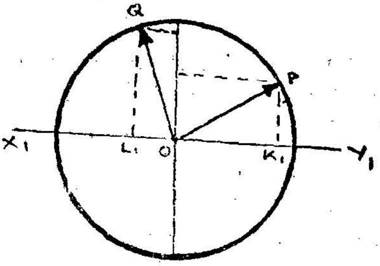
அவை ஒரே வேகத்தில் அதனைக் கடப்பது இல்லை. ஆதலால் அவற்றிற்கு இடையே ஒரு பாதை வேறுபாடு (path-difference) உண்டாகிறது. அப் பாதை வேறுபாட்டின் அளவு குவார்ட்ஸ் தகட்டின் தடிப்பினைப் பொருத்திருக்கிறது. அரைநிழல் அமைப்பில் உள்ள குவார்ட்ஸ் தகட்டின் தடிப்பு அவ்விரு கூறுகளுக்குமிடையே அரை அலைநீள அளவு பாதை வேறுபாடு உண்டாகக் கூடியதாக இருக்கிறது. இதனால் OB என்ற கூறு OC என்ற நிலையை அடைகிறது. OA மற்றும் OC என்ற கூறுகளை ஒன்று சேர்க்க அவை OQ என்ற வீச்சுடைய அதிர்வினைத் தருகின்றன.

அரை நிழலின் இருபாதிகளிலிருந்தும் வெளிவரும் ஒளியை N_2 என்ற நைகாலைச் சுழற்றி ஆராயலாம். $X_1 Y_1$ என்பது பகுப்பானின் (analyser-N_2) முதன்மைத்தளத்தைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 64–b) முதன்மைத்தளத்திற்கு இணையான அதிர்வுகளை மட்டுமே, நைகால் தன்வழியே செல்ல

அனுமதிக்கும் என்பதை நாம் அறிவோம். அரை நிழலின் கண்ணாடிப் பாதியில் வரும் OP என்ற அளவில் OK_1 என்ற கூறு மட்டுமே பகுப்பான் வழியாக வெளியேறும். குவார்ட்ஸ் பாதியில் வரும் OQ என்ற அளவில் OL_1 என்ற கூறுமட்டுமே பகுப்பான்



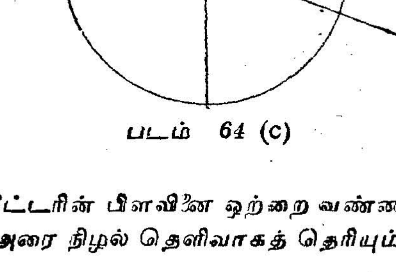
படம் 64 (a)



படம் 64 (b)

வழியாக வெளியேறும். ஒளியின் செறிவு வீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும் என அறிவோம். எனவே வலப் பாதியின் செறிவு OK_1^2-க்கும் இடப் பாதியின் செறிவு OL_1^2-க்கும் நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். OK_1 என்பது OL_1ஐ விடப் பெரியதாக இருந்தால் (படம் 64 b) வலப் பாதி இடப் பாதியைவிட ஒளிச் செறிவு மிக்கதாக பொலிவுடன் விளங்கும்.

OK_1 என்பது OL_1ஐ விடச் சிறியதாக இருப்பின் இடப் பாதி வலப் பாதியைவிடப் பொலிவுள்ளதாக இருக்கும். OK_1 மற்றும் OL_1 என்பவை சமமாக (படம் 64 a) இருப்பின் இரண்டு பாதிகளும் சமப் பொலிவுடன் தோன்றும்.



படம் 64 (c)

செய்முறை

பொலாரிமீட்டரின் பிளவினை ஒற்றை வண்ண ஒளியால் ஒளியூட்டிய பின்பு, அரை நிழல் தெளிவாகத் தெரியும்படி கண்ணருகு

அமைப்பினைச் சீர்செய்யவேண்டும். பின்னர்ப் பகுப்பானைச் சுழற்றி அரை நிழலின் இருபாதியும் சமப் பொலிவுடன் தோன்றச் செய்யவேண்டும். இப்போது பகுப்பானின் நிலையை வட்ட அளவு கோல் மற்றும் வர்னியர் இவற்றின் உதவியால் அளவுக்குறிப்புகள் எடுத்துக் கணக்கிடவேண்டும். தெரிந்த நீளமுடைய ஒரு குழாயில் ஒளியியல் வினையுடைய கரைசலை நிரப்பி அதை அரை நிழலுக்கும் பகுப்பானுக்குமிடையில் வைக்கவேண்டும். கரைசல் OP மற்றும் OQ என்ற இரு அதிர்வுகளையும் ஒரே திசையில் θ என்னும் கோண அளவில் சுழற்றுவதால் அவை OP' மற்றும் OQ' என்ற அதிர்வுகளாக வெளியேறுகின்றன. இவ் வதிர்வுகள் பகுப்பானின் மீதுவிழ, பகுப்பானின் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாய் அமையும் OK_1 மற்றும் OL_1 என்ற கூறுகள் சமமற்றவையாக இருப்பதால் அரை நிழலின் இருபாதிகளும் வெவ்வேறு செறிவுடன் காணப்படுகின்றன. பகுப்பானை அதே திசையில் θ என்ற அதே கோண அளவில் சுழற்றினால் அரை நிழலின் இருபாதிகளும் மீண்டும் சமப் பொலிவுடன் காணப்படும் இப்போது பகுப்பானின் நிலையை வட்ட அளவுகோல் மற்றும் வர்னியர் ஆகியவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். பகுப்பானின் இவ்விரு நிலைகளுக்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ ஆகும். கரைசலின் செறிவு c மற்றும் கரைசல் குழாயின் நீளம் $\frac{l}{10}$ டெ. மீ. ஆகியவற்றை

$P = \frac{10\,\theta}{c\,l}$ என்ற சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தி P-ன் மதிப்பினைப் பெறலாம்.

ஒலியியல்
(SOUND)

1. அறிமுகம்

நமக்குச் செவி உணர்வைத் தருவது ஒலி ஆற்றல் எனப்படும். பொருள்களின் அதிர்வில் ஒலி பிறக்கிறது. ஒரு மேசையை நம் கையால் தட்டும்போது அஃது அதிர்வுற்று ஒலி எழுப்புவதைக் காணலாம். ஒரு பொருள் அதிர்வுற்று ஒலி எழுப்புகையில் விநாடிக்கு எத்தனை முழு அலைவுகளைச் செய்துமுடிக்கிறதோ அஃது அவ்வொலியின் அதிர்வு எண் எனப்படும்.

உண்டாக்கும் ஒலிகள் எல்லாவற்றையும் கேட்டுணரும் திறன் நம் காதுகளுக்கு இல்லை. விநாடிக்கு 20 க்கு மேல் 20,000-க்குள் அதிர்வுறும் ஒலிகளை மட்டுமே இயல்பான காது உள்ளவர்கள் கேட்க இயலும். இது செவி உணர்வின் எல்லை (audibility limit) எனப்படும். மனிதனுக்கு மனிதன் இவ்வெல்லை சிறிது வேறு படுவதுண்டு.

ஒலி பரவிச் செல்ல ஊடகம் ஒன்று தேவை. ஒலி, ஒளியைப் போன்று வெற்றிடத்தின் வழியே செல்ல இயலாது. ஊடகப் பொருளின் வழியே ஒலி அலை வடிவில் பரவுகிறது. அசைவற்ற நீர்ப்பரப்பில் சிறு கல் ஒன்றைப் போட்டுக் கலக்கமுறச் செய்தால், கல் விழுந்த இடத்தில் தொடங்கி வட்ட வட்டமாக விரிந்து பரவும் அலைகளைப் போல, நம்மைச் சூழ்ந்துள்ள காற்றில் ஓரிடத்தில், பொருள் ஒன்று அதிர்வுறும்போது அலைகள் தோன்றிப் பரவுகின்றன. அலைகள் பரவிச் செல்லும் நீர்ப்பரப்பின்மீது நெட்டி அல்லது சருகு போன்ற ஒன்று மிதப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். அலைகள் நீர்ப்பரப்பின் போக்கில் செல்வதையும் அப்போது மிதக்கும் பொருள் மேலும் கீழும் ஏறி இறங்குவதையும் காணலாம். இதிலிருந்து அலை பரவிச் செல்லும்போது நீர் அலையுடன் செல்வதில்லை என்பதையும், அது மேலும் கீழுமாக அதிர்வுற்றுத் தன் ஆற்றலை அலை வடிவில் பரப்புகிறது என்றும் அறிகிறோம். இவ்வாறே ஒலி ஆற்றல் பரவும்போது ஊடகத்தின்

துகள்கள் முன்னும் பின்னுமாக அதிர்வுற்று ஒலி ஆற்றலைப் பரப்புகின்றனவே அன்றி அவைகளும் ஒலியுடன் கூடவே செல்வது இல்லை.

குறுக்கு அலைகளும் நெட்டலைகளும்
(Transverse waves & Longitudinal waves)

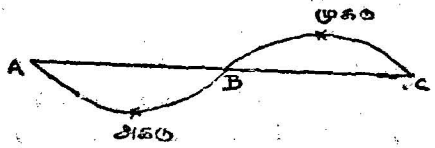
அலைகள் இருவகைப்படும். (1) குறுக்கு அலைகள், (2) நெட்டலைகள்.

(i) ஊடகத்தின் துகள்கள் அலை பரவிச் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான ஒரு திசையில் அதிர்வுற்று அலையாற்றலைப் பரவச் செய்தால் அந்த அலை குறுக்கு அலை (Transverse wave) எனப்படும். நீர்ப்பரப்பில் உண்டாகும் அலைகளும். இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பி அல்லது கயிறு ஆகியவற்றில் பரவிச் செல்லும் அலைகளும் குறுக்கு அலைகளாகும்.

(ii) ஊடகத் துகள்கள் அலை பரவிச் செல்லும் அதே திசையில் அதிர்வுற்று, அலையின் ஆற்றலைப் பரவச் செய்யுமாயின் அந்த அலை நெட்டலை (longitudinal wave) எனப்படும். காற்று அல்லது மற்ற வாயுக்களின் மூலம் பரவிச் செல்லும் ஒலி அலைகள் நெட்டலைகள் ஆகும்.

அலை பரவுதல்

(i) நீண்ட கயிற்றின் ஒரு முனையைச் சன்னல் கம்பி ஒன்றில் கட்டிவிட்டு, மறுமுனையைக் கையால் இழுத்துப் பிடித்துக்கொண்டு கையை மேலுங் கீழுமாக அசைத்தால், நமது கைக்கு அருகே கயிற்றில் தோன்றும் ஒரு முகடு (crest) கயிற்றின் வழியே மறு



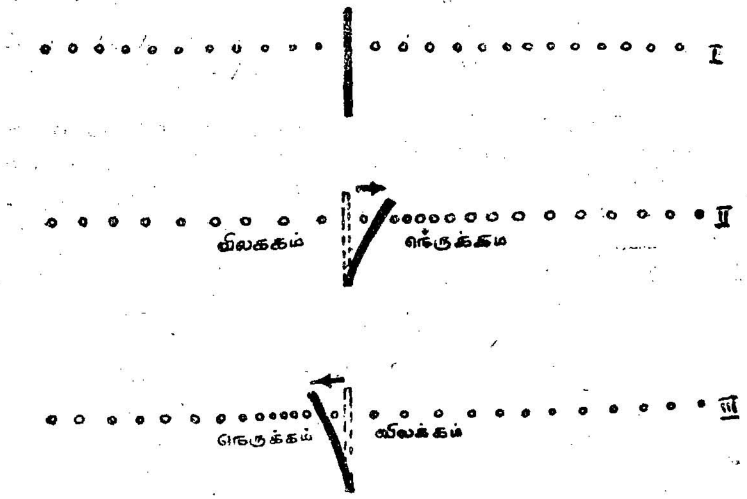
படம் 65

முனைக்குச் செல்வதைப் பார்க்கலாம். அடுத்துக் கைக்கு அருகே கயிற்றில் தோன்றும் அகடு (trough) ஒன்றும் மறுமுனையை அடையும். தொடர்ந்து கையை மேலும் கீழுமாக அசைத்துக்

கொண்டே இருந்தால் ஒன்றன் பின் ஒன்றாக முகடுகளும், அகடுகளும் தொடர்ந்து கயிற்றில் சென்று கொண்டே இருப்பதைக் காணலாம். கையை ஒரு முறை மேலே எழுப்பிக் கீழே தாழ்த்திச் சென்று மறுபடியும் தொடங்கிய இடத்திற்கே கொண்டு வரும் போது ஒரு முகடும் ஓர் அகடும் ஏற்படுவதைக் காணலாம் ஓர் அகடும் ஒரு முகடும் கொண்ட அலைப் பகுதியின் நீளம் AC, இது அலை நீளம் எனப்படும். இது λ (லாம்டா) என்னும் எழுத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது. இவ்வாறு கை மேலும் கீழுமாக n முறைகள் அதிர்வுறும்போது n அலைநீளங்கள் உண்டாகும். முதலில் உண்டான துடிப்பு தொடங்கிய இடத்திலிருந்து $n\lambda$ தூரத்தில் இருக்கும். எனவே, அலைபரவிச் செல்லும் திசைவேகம் $v=n\lambda$ ஆகும்.

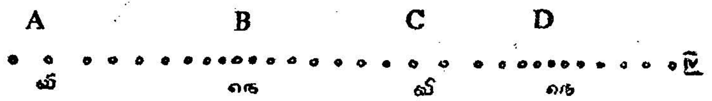
(ii) ஊடகத்தின் நெகிழ்ந்து மீளும் தன்மையினால் நெட்டலைகள் உண்டாகின்றன. இதனால் ஊடகத்தின் ஓரிடத்தில் ஏற்பட்ட கலக்கம் அதற்கு அடுத்துள்ள துகளுக்கும், அங்கிருந்து அதற்கு அடுத்துள்ள துகளுக்கும் இப்படியே தொடர்ந்து பரவிச் செல்கிறது.

இயல்பான நிலையில் ஊடகத்தின் துகள்கள் படம் (66) வரிசை I-ல் காட்டியுள்ளபடி சீராகப் பரவி இருக்கின்றன. மெல்லிய எஃகுத் தகடு ஒன்று படத்தில் காட்டியவாறு முன்னும் பின்னுமாக அசைவதாக வைத்துக் கொள்வோம். தகடு முன்னால் அசையும்போது தகட்டிற்கு வலப் பக்கமுள்ள ஊடகத்துகள்கள்



படம் 66

படிப்படியாக நெருக்கப்பட்டு ஒன்றை ஒன்று நெருங்குகின்றன. அதே நேரத்தில் தகட்டிற்கு இடப் பக்கத்தில் உள்ள துகள்கள் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகிப் பரவுகின்றன. (வரிசை II) தகடு பின்னோக்கி அசையும்போது வலப் பக்கத்தில் தகட்டின் அருகே உள்ள துகள்கள் பின்னோக்கி நகர்ந்து பரவிவிட, இடப் பக்கத்துகள்கள் நெருக்கப்படுகின்றன. (வரிசை III) இவ்வாறு தகடு தொடர்ந்து முன்னும் பின்னும் அசையத் துகள்கள் மாறிமாறி நெருங்குவதும் விலகுவதுமாக இருக்கின்றன. அஃதாவது முன்னும் பின்னுமாக அதிர்வுறுகின்றன. எனவே ஊடகத்தில் விலக்கத்தின் பின்



படம் 67

நெருக்கம் அதைத் தொடர்ந்து விலக்கம், பின் நெருக்கம் என்று தொடர்ந்து மாறி மாறி உண்டாகின்றன. படம் 67 இதனைக் காட்டுகிறது. நெட்டலைகளில் அடுத்தடுத்து உள்ள இரு நெருக்கங்கள் அல்லது விலக்கங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம் அலை நீளம் எனப்படும். படம் 67-ல் AC அல்லது BD என்பது ஓர் அலை நீளமாகும்.

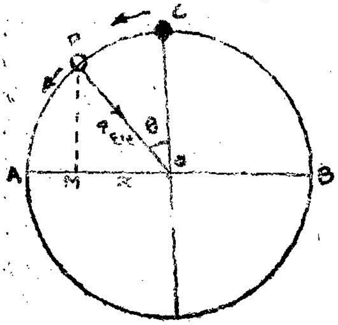
எஃகுத்தகடு தொடர்ந்து வினாடிக்கு n முறைகள் அதிர்வுறும் போது n அலை நீளங்கள் தோன்றும். எனவே முதலில் உண்டான நெருக்கம் அல்லது விலக்கம் எஃகுத் தகட்டிலிருந்து $n\lambda$ தூரத்தில் இருக்கும். எனவே அலை பரவும் வேகம் $v = n\lambda$.

ஒலி ஊடகத்தின் வழியே பரவும்போது ஊடகத் துகள்கள் அதிர்வுறுகின்றன என்று கூறினோம். அவ் வதிர்வுகள் சீரிசை இயக்கம் (simple harmonic) வகையைச் சார்ந்த அதிர்வுகளாகும். சீரிசை இயக்கம் என்றால் என்ன? அதன் பண்புகள் யாவை என்பது குறித்து ஓரளவு அறிந்து கொள்வது ஒலி பற்றிய ஆய்வுக்குப் பெரிதும் உதவும்.

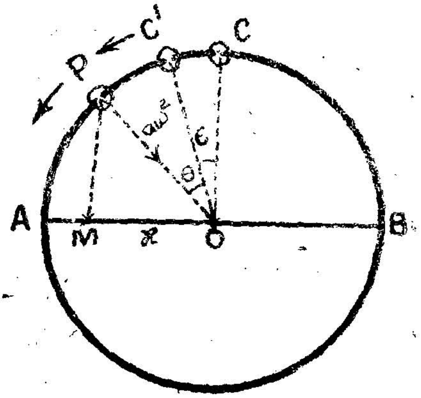
2. சீரிசை இயக்கம்

Simple harmonic motion

a என்னும் ஆரமுடைய வட்டத்தின் சுற்றுக் கோட்டில் P என்ற துகள் ஒன்று படம் 68 (a) மாறுத v என்ற வேகத்துடன் சுற்றி வருவதாக வைத்துக் கொள்வோம், அதன் கோண திசை வேகம் (angular velocity) ω என்போம். v என்பது மாறுமலிருப்பதால் ω-வும் மாறுமல் இருக்கும். AB என்பது அவ் வட்டத்தின் விட்டமாகும். M என்பது P என்ற புள்ளியிலிருந்து AB-க்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோட்டின் அடிப் புள்ளியாகும்.



படம் 68 (a)



படம் 68 (b)

P என்னும் துகள் வட்டத்தின் சுற்றுக் கோட்டிலுள்ள C என்ற புள்ளியிலிருந்து தொடங்கி வட்டத்தை ஒருமுறை சுற்றிக்கொண்டு C-க்குத் திரும்பும்போது, M என்ற புள்ளி O-விலிருந்து A-க்குச் சென்று பின் A-யிலிருந்து B-க்குச் சென்று பின்னர் O-க்குத்

திரும்பி வருகிறது. P என்ற புள்ளி தொடர்ந்து வட்டப்பாதையில் சீரான வேகமுடையதாக இயங்கும் போது M என்ற புள்ளி AB என்னும் விட்டத்தில் இங்குமங்குமாக O-ஐ மையமாகக் கொண்ட பருவ இயக்கம் (periodic motion) புரிகிறது. இவ் வியக்கத்திற்கு P என்பது தோற்றுவிக்கும் புள்ளி என்றும் (generating point) அது சுற்றி வரும் வட்டம் தோற்றுவிக்கும் வட்டம் (generating circle) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அவ்வட்டத்தின் ஆரங்களாகிய OA அல்லது OB என்பன M பெறுகின்ற பெரும இடப்பெயர்ச்சியினைக் குறிக்கின்றன. மேற்கூறியவாறு O-ஐ மையமாகக் கொண்டு M செய்கின்ற அலைவு இயக்கத்திற்குச் சீரிசை இயக்கம் என்றும் வட்டத்தின் ஆரத்திற்குச் சீரிசை இயக்க வீச்சு (amplitude) என்றும் பெயர்.

P என்னும் தோற்றுவிக்கும் புள்ளி வட்டத்தைச் சுற்றிச் சீரான வேகத்துடன் சென்று கொண்டிருப்பினும், அதன் திசை கணத்திற்குக் கணம் மாறிக் கொண்டிருப்பதால் அதன் திசை வேகம் சீரற்றது என்றும், எனவே அஃது ஒரு முடுக்கத்திற்கு உட்பட்டிருக்க வேண்டும் என்றும் உணர்கிறோம். அம் முடுக்கம் திசைவேகத்தின் அளவில் (magnitude) மாறுதல் உண்டாக்காமல், திசையில் மட்டும் மாற்றம் உண்டாக்கக் கூடிய வகையில் செயல்படவேண்டும். முடுக்கம் பொருளின் திசைக்குச் செங்குத்தாக, அதாவது பொருள் வட்டத்தின் எந்தப் புள்ளியில் இருப்பினும் அப்புள்ளி வழியாக வரையப்படும் ஆரத்தின் போக்கில் மையத்தை நோக்கிச் செயற்பட வேண்டும். இவ்வாறு செயற்படும் முடுக்கத்தின் அளவு $a\omega^2$ எனக் காட்டுதல் எளிது. எனவே வட்டப் பாதையில் பொருள் சீரான வேகமுடன் சுற்றி வரும்போது அதன் மீது PO என்னும் திசையில் எப்போதும் $a\omega^2$ என்னும் முடுக்கம் தொடர்ந்து செயற்பட்டுக் கொண்டிருக்கும். P என்ற புள்ளி M-க்கு இயக்கம் உண்டாக்குவிப்பதைப் போலவே முடுக்கமும் தருகிறது. எந்த ஒரு நிலையிலும் AO என்ற திசையில் பெறப்படும் $a\omega^2$-ன் முடுக்கக் கூறு, M-ன் முடுக்கத்தைத் தரும். இதன்படி M-ன் முடுக்கம் $a\omega^2 \sin\theta$ ஆகும். ஆனால் $a \sin\theta = x$ என்னும் இடப் பெயர்ச்சியினைக் குறிக்கும். எனவே, M-ன் முடுக்கம் $= x \times \omega^2$ ஆகும். ω என்பது மாறிலி. ஆகவே, முடுக்கம் இடப் பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது என்பதை அறிகிறோம். எனவே, ஒரு பொருள் சீரிசை இயக்கம் புரியும்போது எந்தக் கணத்திலும் அதற்குள்ள முடுக்கம், அக் கணத்தில் அது தன் சம நிலைப் புள்ளியிலிருந்து பெற்றுள்ள இடப் பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலும், அப் புள்ளியை நோக்கியும் செயற்படும் என்று உணர்கிறோம்.

P என்ற புள்ளி t விநாடிகளில் P-யிலிருந்து C-க்குச் செல்வதாகவும் $\angle COP = \theta$ என்றும் கொள்வோம். அதன் கோணத் திசை வேகம் $\omega = \frac{\theta}{t}$ அல்லது $\theta = \omega t$

இடப் பெயர்ச்சி, $x = a \sin \omega t$

$$= a \sin \frac{2\pi}{T} \times t$$

ஏனெனில், $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ஆகும். இங்கு T என்பது P வட்டப் பாதையில் ஒரு முழுச் சுற்றுச் சுற்றிவர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமாகும். அஃதாவது, M-ன் சீரிசை இயக்கத்திற்கு அலைவு நேரமாகும். M-ன் இடப் பெயர்ச்சியைக் காண்பதற்கு P, C-விருந்து புறப்பட்டால்தான் சமன்பாடு (1)-ஐப் பயன் படுத்தமுடியும். எடுத்துக்காட்டாக அது C' என்ற புள்ளியிலிருந்து (படம் 68b) தொடங்குவதாகவும் $\angle COC' = \varepsilon$ (எப்சிலான்) என்றும் கொள்வோம், புறப்பட்ட பின்பு t விநாடிகள் கழித்து அதன் இடப் பெயர்ச்சி,

$$x_1 = a \sin (\omega t + \varepsilon) \text{ ஆகும்.}$$

$$\because \angle POC = \omega t + \varepsilon$$

$$= a \sin \left(\frac{2\pi}{T} \times t + \varepsilon \right) \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு ε என்பது தொடக்கக் கட்டம் (initial phase) எனப்படும். P என்ற புள்ளி C-யிலிருந்து தொடங்கும்போது அதன் தொடக்கக் கட்டம் சுழி (zero) ஆகும்.

ஒலியின் திசை வேகம்
(Velocity of Sound)

ஒரு வாயுப் பொருளில் ஒலியின் திசை வேகம்,

$$v = \sqrt{\frac{E}{d}} \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு E என்பது வாயுவின் மீட்சி மாறிலி (elastic constant) ஆகும். d என்பது அவ் வாயுவின் அடர்த்தியாகும். ஒலி வாயுப் பொருளில் பரவிச் செல்லும்போது மாறி மாறி உண்டாகின்ற

நெருக்கங்களும், விலக்கங்களும், மிக மிக விரைவாக நிகழ்வதால் இங்குக் கூறப்படும் மீட்சி மாறிலி, வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சி மாறிலி (adiabatic elasticity) ஆகும் என்பதை லாப்லாஸ் என்ற மேதை உணர்ந்தார். எனவே, அவர் ஒலியின் திசை வேகம்,

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$$ ஆகும் என்றார்.

இங்கு γ என்பது வாயுப் பொருளின் இரு சுய வெப்ப எண்களுக்கிடையே உள்ள விகிதத்தையும், P என்பது அப்போதைய அழுத்த நிலையையும் குறிக்கின்றன.

எடுத்துக்காட்டாக இயல்பான வெப்பநிலை அழுத்தநிலை ஆகியவற்றில் (அஃதாவது NTP-ல்) காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$P = 76$ செ மீ. பாதரச உயரத்திற்குச் சமம்.

$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 980$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

$d = 0{\cdot}001293$ கிராம்/க. செ மீ.

$\gamma = 1{\cdot}4.$

எனவே, $v = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 980}{0{\cdot}001293}}$

$= 33200$ செ. மீ./விநாடி

$= 332$ மீட்டர் / விநாடி

காற்றின் அழுத்தம், வெப்பநிலை போன்றவற்றைப் பொருத்து ஒலியின் வேகத்தில் உண்டாகும் மாறுதல்கள்

(i) அழுத்தம்

மாறு வெப்ப நிலையில் ஓரிடத்தின் அழுத்தநிலை P_1-லிருந்து P_2 ஆவதாக வைத்துக் கொள்வோம். அப்போது அங்கு வாயுவின் அடர்த்தி d_1 என்றும் பின்பு அழுத்தநிலை P_2 ஆனவுடன் அடர்த்தி d_2 ஆவதாகக் கொள்வோம்.

$$v_1 = \sqrt{\frac{\gamma P_1}{d_1}} \qquad v_2 = \sqrt{\frac{\gamma P_2}{d_2}}$$

ஆனால், பாயிலின் விதிப்படி $\frac{P_1}{d_1} = \frac{P_2}{d_2}$ ஆகும்.

எனவே, $v_1 = v_2$

வெப்பநிலை மாருதபோது காற்றின் அழுத்தம் மட்டும் மாறுவதால் ஒலியின் வேகம் எவ்வித மாறுதலும் அடைவது இல்லை.

(ii) வெப்பநிலை

வெப்பநிலை $0°c$-யிலிருந்து $t°c$ ஆகும்போது காற்றின் அழுத்தம் P_0–லிருந்து P-க்கும், அடர்த்தி d_0-லிருந்து d-க்கும் ஒலியின் திசைவேகம் v_0-லிருந்து v-க்கும் மாறுவதாக கொள்வோம்.

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{d_0}} \qquad v = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$$

$$\therefore \quad \frac{v}{v_0} = \sqrt{\frac{P}{d} \cdot \frac{d_0}{P_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

ஆனால் இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{P_0}{d_0 T_0} = \frac{P}{dT} \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $$\frac{T}{T_0} = \frac{P\, d_0}{P_0\, d}$$

சமன்பாடு (1)-ல் இதனைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

எனவே ஒலியின் வேகம் வாயுப் பொருளுக்கு அப்போதுள்ள சார்பற்ற வெப்பநிலைக்கு (absolute temperature) நேர்விகிதத்திலிருக்கும். வெப்பநிலை அதிகரிக்கும் போது ஒலியின் வேகமும் அதிகரிக்கும் என அறிகிறோம்.

வெப்பநிலை $1°C$ உயரும் போது ஒலியின் திசை வேகத்தில் உண்டாகும் அதிகரிப்பினைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்:

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

$$= \sqrt{\frac{273 + t}{273}}$$

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= v_0 \left(1 + \frac{1}{2} \times \frac{t}{273}\right) \quad \text{பைனாமியல் கொள்கைப்படி}$$

$$= v_0 \left(1 + \frac{t}{546}\right)$$

எனவே, $t = 1^\circ C$ ஆகும்போது

$$v = v_0 \left(1 + \frac{1}{546}\right)$$

$$= 332 \times \frac{547}{546}$$

$$= 332{\cdot}6 \text{ மீ/வினாடி}$$

எனவே வெப்பநிலை 1° உயர, ஒலியின் திசை வேகம் வினாடிக்கு 332 மீட்டரிலிருந்து 332·6 மீட்டராக உயருகிறது. அதாவது வெப்ப நிலை 1° C உயரும்போது திசை வேகம் வினாடிக்கு 0·6 மீட்டர் அதிகரிக்கும்.

ஈரப்பதநிலை (humidity)

காற்றிலுள்ள ஈரம், காற்றின் அடர்த்தியைக் குறைக்கிறது. காற்றில் நீராவி அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதன் ஈரம் அதிகரிக்கும். நீராவியின் அடர்த்தி காற்றின் அடர்த்தியில் 0·62 மடங்கே ஆகும். எனவே நீராவி அதிகரிக்க அதிகரிக்க வாயுமண்டலக் காற்றின் அடர்த்தி குறைகிறது. எனவே ஈரமுள்ள காற்றில் ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கிறது.

வீசுங் காற்று

காற்று ஒலி செல்லும் திசையில் வீசினால் ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கும், எதிர்த்திசையில் வீசினால் ஒலியின் வேகம் குறையும்.

ஒலி அலைகளின் பண்புகள்

ஒளி அலைகளைப் போலவே ஒலி அலைகளும் எதிரொலிப்புக்கும், விலகலுக்கும் உள்ளாகின்றன. எதிரொலி (echo) என்ற நிகழ்ச்சி ஒலி எதிரொலிக்கப்படுகிறது என்ற உண்மையை நிலை நிறுத்துகிறது. தொலைவிலுள்ள கட்டடங்கள், மலைமுகடுகள் போன்றவற்றினால் பிரதிபலிக்கப்படும் ஒலியே எதிரொலி எனப்படும். நம் குரலை S என்னும் தூரத்தில் உள்ள சுவர் ஒன்று எதிரொலிப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். நாம் ஒலி எழுப்புவதற்கும் எதிரொலியைக் கேட்பதற்கும் இடையே t வினாடிகள் கழிவதாக வைத்துக்கொள்வோம். இப்போது $v = \frac{2S}{t}$ ஆகும். இங்கு v என்பது ஒலியின் திசை வேகத்தினைக் குறிக்கும்.

ஒலியின் விலகல் :

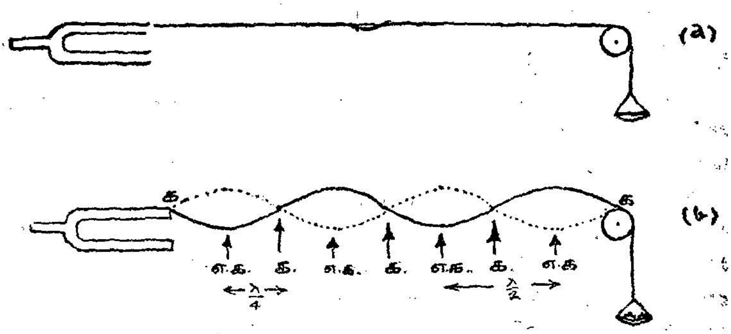
ஓர் ஒலித் தோற்றுவாயிலிருந்து சிறிது தூரத்தில் மெழுகுவர்த்திச் சுடர் ஒன்றை வைப்போம். ஒலி காற்றின் வழியே செல்லும்போது உண்டாகின்ற நெருக்கங்களினாலும் விலக்கங்களினாலும் சுடர் அலைப்புறுவதை (சுடர் ஆடி அசைவதை) நாம் காணலாம். சுடருக்கும், ஒலித் தோற்றுவாய்க்கும் இடையே கார்பன் டை ஆக்ஸைடு (carbon di oxide) நிரப்பிய பலூன் ஒன்றை வைப்போம். இப்போது மெழுகுவர்த்திச் சுடர் அலைப்புறுவதில்லை. ஏன் ? பலூன் ஒலியைத் தடை செய்து விட்டதா என்றால் இல்லை. மெழுகுவர்த்தியைச் சிறிது மேலோ அல்லது கீழோ அல்லது பக்கத்திலோ நகர்த்தினால் மீண்டும் அதன் சுடர் அலைப்புறுவதைக் காணலாம். இதிலிருந்து ஒலி காற்றிலிருந்து கார்பன் டை ஆக்ஸைடு என்ற மற்றோர் அடர்த்திமிகுந்த ஊடகத்தில் நுழையும்போது விலக்கமுற்றுத் திசை மாறிப்போய்விடுகிறது என்பதை அறிகிறோம்.

நிலை அலைகள் (stationary waves)

ஒரே அலை நீளமும், வீச்சும் உடைய இரு அலைத் தொடர்களை ஓர் ஊடகத்தில் எதிரெதிர்த் திசைகளில் பரவுமாறு செய்தால் நிலை அலைகள் தோன்றுகின்றன. ஒன்றை ஒன்று எதிர்ப்படும் அலைகள் அசையாமல் இருப்பது போன்ற தோற்றத்தை அளிப்பதால் அவை நிலை அலைகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. ஆதலால் ஊடகத்திலுள்ள சில துகள்கள் இடப் பெயர்ச்சியே இல்லாமலும் சில துகள்கள் பெரும இடப் பெயர்ச்சியுற்றும் இருக்கின்றன. இடப்பெயர்ச்சியே இல்லாமல் இருக்கின்ற துகள்கள் உள்ள இடங்கள் கணுக்கள் (nodes) என்றும், பெரும இடப் பெயர்ச்சி

யுற்ற துகள்கள் இருக்குமிடங்கள் எதிர்க்கணுக்கள் (antinodes) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்கள் அல்லது இரு எதிர்க்கணுக்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் அரை அலை நீளமாகும். அடுத்தடுத்துள்ள கணு ஒன்றுக்கும் எதிர்க்கணு ஒன்றுக்கும் இடையே உள்ள தூரம் கால் அலை நீளமாகும்.

மெல்லிய முறுக்கற்ற நூல் ஒன்றின் ஒரு முனையை ஒலிக்கவை ஒன்றுடனும், மறு முனையைக் கப்பி ஒன்றின் வழியே தட்டு ஒன்றுடனும் இணைக்கவேண்டும். படம் (69–a) (1) தட்டில் எடைக் கற்கள் மேபாடப்பட்டு நூலுக்குத் தேவையான இழு விசை



படம் 69
க: கணு: எ. க: எதிர்க்கணு.

தரப்படுகிறது. பின் ஒலிக்கவையை இரப்பர் சுத்தியால் தட்டி அதிர்வுறச் செய்தால் படம் (69-b)-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற நிலை அலைகள் தோன்றுகின்றன.

ஒலி அலைகளைப் பிரதிபலிப்பதற்கு ஏற்ற அமைப்புகளைக் கொண்டு நிலை அலைகளை எளிதில் உண்டாக்கலாம். படு அலைகளும் (incident waves), எதிரொளிக்கப்பட்ட அலைகளும் (reflected waves) ஒரே அலை நீளமும், வீச்சும் உடையன ஆதலால் அவை ஒன்றை ஒன்று எதிருறும் போது நிலை அலைகள் தோன்றும்.

காற்று அல்லது வாயு நிரம்பிய குழாய்களில் ஒலி அலைகளைச் செலுத்தி நிலை அலைகளை உண்டாக்கலாம். குழாயின் திறந்த முனையில் எப்போதும் எதிர்க்கணுவும் மூடிய முனையில் எப்போதும் கணுவும் உண்டாகின்றன.

இயல்பு அதிர்வு, வலிந்த அதிர்வு, ஒத்ததிர்வு
(Natural vibration, Forced vibration and Resonance vibration)

(i) இயல்பு அதிர்வு (Natural vibration)

ஒரு பொருளை ஒலிக்கச் செய்து பின் அதை அதன் இயல்புக்கு விட்டுவிட அஃது அதன் வடிவியல் அளவுகள், நெகிழ்ந்து மீட்சியுறும் திறன், அதிர்வித்த வகை இவைகளுக்கு ஏற்பத் தனக்கென ஓர் அதிர்வு எண் கொண்டிருப்பதைக் காணலாம். இத்தகைய அதிர்வு இயல்பு அதிர்வு என்றும், அதன் அதிர்வு எண் இயல்பு அதிர்வு எண் (Natural frequency) என்றும் கூறப்படுகின்றன.

(ii) வலிந்த அதிர்வு (Forced vibration)

தொடர்ந்து சம இடைவெளி கொடுத்துச் செயற்படும் வெளிவிசையின் வயப்பட்ட ஒரு பொருள், அதன்மீது செயற்படும் வெளிவிசையின் அதிர்விஞல் அதிரத் தொடங்கும். பொருளின் இயல்பு அதிர்வு வேருக இருந்தும் அது வெளிவிசையின் அதிர்வைப் பெற்று அசைகிறது. இத்தகைய அதிர்வு வலிந்த அதிர்வு (Forced vibration) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, இழுத்துக் கட்டப் பட்டிருக்கும் ரப்பர் கயிறு ஒன்றிலிருந்து பல நீளங்களைக் கொண்ட ஊசலிகள் தொங்கவிடப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அவ்வூசலிகளில் ஏதாவது ஒன்றை அலைய விடுவோமாஞல் மற்ற ஊசலிகளும் அலையத் தொடங்குகின்றன. இவ்வூசலிகளின் அதிர்வு வலிந்த அதிர்வு ஆகும். இவ்வாறே ஒலிக்கவை (tuning fork) ஒன்றை ஒலித்துப் பின் அதன் காம்பு மேசையைத் தொடுமாறு பிடித்தால், மேசை வலிந்த அதிர்வுக்கு உள்ளாகி ஒலிப்பதையும் அதனுல் இரு அதிர்வுகளின் விளைவுச் செறிவிஞல் அதிக ஒலி கேட்பதையும் கேட்கலாம்.

(iii) ஒத்ததிர்வு (Resonance)

இது குறிப்பிடத் தக்க ஒரு வகை வலிந்த அதிர்வே ஆகும். பொருளை வலிந்து அதிரச் செய்யும் வெளிவிசையின் அதிர்வு எண்ணும் (மேற்கூறிய எடுத்துக்காட்டில் ஒலிக்கவை) பொருளின் (மேசையின்) இயல்பு அதிர்வு எண்ணும் சமமாஞல், வலிந்த அதிர்வு பெரும வீச்சுடையதாக இருக்கும். எனவே, விளைவுச் செறிவு பெரும எல்லையை அடைந்து மிகுந்த ஒலியை உண்டாக்கும். இத்தகைய அதிர்வு ஒத்ததிர்வு என்றும், இந்நிகழ்ச்சி ஒத்ததிர்வு நிலை என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு குழாயில் உள்ள காற்றின் இயல்பு அதிர்வு எண் அதன் நீளத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண் உடைய ஒலிக்கவை ஒன்றை ஒலித்து, குழாயின் திறந்த வாய் அருகே பிடித்துக் கொண்டு குழாயிலுள்ள காற்றின் நீளத்தைத் தக்கவாறு மாற்றினால் பேரொலி கேட்கும். இப்போது குழாயிலுள்ள காற்றின் இயல்பு அதிர்வு எண், ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாக இருக்கும். இந் நிலையில் ஒலிக் கவையும், குழாயிலுள்ள காற்றும் ஒத்ததிர்வு நிலை உற்றதாகக் கூறுகிறோம்.

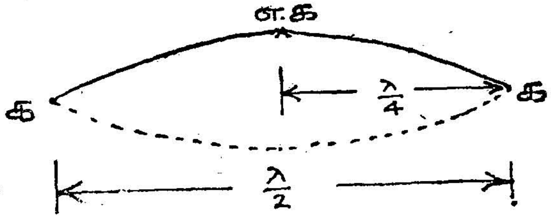
துடிப்புகள் (Beats)

ஏறக்குறைய சமமான இரு இசை ஒலிகள் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கப்படுமானால் ஏற்படும் விளைவுச் செறிவு ஏறி இறங்குவதைக் காணலாம். ஒலியின் செறிவில் காணும் மேற்கூறிய ஏற்ற இறக்கங்கள் துடிப்புகள் எனப்படும். இவ்வாறு ஏற்படும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கை அவ்விரு ஒலிகளின் அதிர்வு எண் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக 510, 512 அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட இரு ஒலிக்கவைகள் ஒரே சமயத்தில் ஒலிக்கப்பட்டால் இதனால் விளைகின்ற விளைவுச் செறிவு வினாடிக்கு இரு முறைகள் ஏறி இறங்குவதைக் கேட்கலாம். பொதுவாக n_1, n_2 என்ற அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட இரு ஒலிகளுக்கிடையே உண்டாகும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கை $n_1 \sim n_2$ ஆகும்.

3. கம்பிகளின் அதிர்வு
(Vibration of Strings)

இரு புள்ளிகளுக்கிடையே T என்னும் இழு விசையுடன் இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் கம்பி வழியாகச் செல்லும் குறுக்கு அலைகளின் திசை வேகம்,

$v = \sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். இங்கு T என்பது இழு விசை (tension) யையும், m என்பது கம்பியின் நீள அடர்த்தியையும் (linear density) குறிக்கின்றன. ஒரு சென்டி மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியின் நிறை அதன் நீள அடர்த்தி எனப்படும். ஒரு முனையிலிருந்து கம்பியின் மறு முனையை அடைகின்ற குறுக்கு அலைகள் மறு முனையில் எதிரொலிக்கப்படுவதால் நிலை அலைகள் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு உண்டாகக்கூடிய அலைகளில்



படம் 70

மிக எளிய வகை அலை, இரு முனைகளிலும் இரு கணுக்களையும் நடுவில் ஓர் எதிர்க் கணுவையும் கொண்ட ஒற்றை வளைய நிலை அலையாகும் (single loop stationary wave). அதிர்வுறும் கம்பியின் நீளம் l செ. மீ. என்றால், அதன் அலை நீளம் $\lambda = 2l$ ஆகும். எனவே, கம்பியின் அதிர்வு எண்,

$$n = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \because v = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

இது கம்பியின் அடிப்படை அதிர்வு எண் (fundamental frequency) எனப்படும்.

மெர்சேன் (Mersenne) என்ற மேதை, இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பி, ஒற்றை வளைய நிலை அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும்போது நிகழும் அதிர்வு பற்றிய பின்வரும் குறுக்கு அலை விதிகளைக் கூறினார்:

(i) இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் கம்பியின் இழுவிசையும் நீள அடர்த்தியும் மாறாமலிருக்கையில், கம்பியின் (அடிப்படை) அதிர்வு எண் அதன் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

(ii) கம்பியின் நீளமும் நீள அடர்த்தியும் மாறாமலிருக்கையில் அதன் அதிர்வு எண் இழுவிசையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

(iii) கம்பியின் இழுவிசையும் நீளமும் மாறாமலிருக்கையில் அதன் அதிர்வு எண் அதன் நீள அடர்த்தியின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

ஒற்றைக் கம்பி சோனா மீட்டர்
(Monochord Sonameter)

இதில் ஒரு மரப்பெட்டி இருக்கிறது. அதன்மீது ஏறக்குறைய ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் A, B என்ற இரு கத்திமுனைக் கட்டைகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றின்மீது செல்லுமாறு மெல்லிய சீரான கம்பி ஒன்று இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. கம்பியின் ஒரு முனை P என்ற முனையுடன் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. மறு முனை ஒரு கப்பி வழியே சென்று எடை தாங்கி (weight hanger) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. நகர்த்தக்கூடிய C என்ற கத்தி முனைக் கட்டை ஒன்று A-க்கும் B-க்கும் இடையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. தெரிந்த எடைக் கற்களை எடை தாங்கியில் போட்டுத் தேவையான இழு விசையைப் பெறலாம்.

இவ்வமைப்பினைப் பயன்படுத்திக் குறுக்கு அலைகள் பற்றிய விதிகளை மெய்ப்பிக்கலாம்.

சோனா மீட்டர் கம்பியை ஒலிக்கவையின் அதிர்வுடன் இசையச் செய்வது எப்படி ?

கம்பிக்குத் தகுந்த இழு விசையைத் தந்து கம்பி தொய்வு இன்றி இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். பின்னர் ஒலிக்கவையை

ஒலித்து அதன் காம்பு சோனு மீட்டர் பெட்டியின் மீது படுமாறு வைக்கவேண்டும். பின்னர் நகரும் கத்திமுனைக் கட்டையாகிய C-க்கும் நிலையான கத்திமுனைக் கட்டையாகிய B-க்கும் இடையே உள்ள கம்பிப் பகுதியை விரலால் சுண்டிவிட அஃது அதிர்ந்து ஒலி எழுப்பும். ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண் கம்பியின் அதிர்வு எண்ணுக்கு ஓரளவு சமமாக இருக்கும்போது துடிப்புகள் கேட்கும்; இல்லாவிடில் நகரும் கத்திமுனை C-ஐ முன்னோ பின்னோ நகர்த்தி CB-யின் நீளத்தை மாற்றியமைத்துத் துடிப்புகள் கேட்குமாறு செய்யவேண்டும். பின்னர் C-ஐ ஒரு சிறிது நகர்த்தினால் துடிப்புகள் மறைந்து அவ்விரு அதிர்வுகளும் ஒத்து அசைவதனால் பெரும் ஒலி கேட்கும். இப்போது CB-ன் மீது நடுவில் ஒரு காகித ஏறி (paper rider) ஒன்றை வைத்தால் அது தூக்கி எறியப் படுவதைக் காணலாம். கம்பி ஒத்திசையும்போது பெரும வீச்சுடன் அலைவுறுவதால் காகித ஏறி தூக்கி எறியப்படுகிறது.

கம்பியின் குறுக்கு அலை விதிகளை மெய்ப்பித்தல்

(1) முதல் விதி

T, m ஆகியவை மாறாமலிருக்கும்போது $n \propto \frac{1}{l}$ ஆகும்; அஃதாவது nl என்பது மாறிலியாகும்.

எடை தாங்கியிலுள்ள எடையை மாற்றாமல் n_1, n_2, n_3......... போன்ற அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட ஒலிக்கவைகளுடன், ஒத்திசைந்து பெரும ஒலி எழுப்பும் l_1, l_2, l_3......... என்ற கம்பிப் பகுதிகளின் நீளத்தைக் கண்டறிய வேண்டும். இவற்றைக் கொண்டு,

$n_1 \, l_1 = n_2 \, l_2 = n_3 \, l_3 =$ ....மாறிலியாக இருப்பதை அறியலாம்.

(2) இரண்டாம் விதி

l, m ஆகியவை மாறாமல் இருக்கும்போது $N \propto \sqrt{T}$ அல்லது $N^2 \propto T$ அல்லது $N^2/T =$ மாறிலி ஆகும்.

T_1 என்ற இழுவிசையின்கீழ் n என்னும் அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளம் l_1-ஐக் காணலாம். இதைக் கொண்டு இதே இழுவிசையின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

$$nl_1 = 100 \times N_1 \therefore N_1 = \frac{nl_1}{100} \text{ ஆகும்.}$$

இது போன்று T_2 என்ற இழுவிசையின் கீழ் அதே n அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப்பகுதியின் நீளம் l_2-ஐக் கண்டறியலாம். இதிலிருந்து 100 செ. மீ. நீளமுள்ள கம்பி T_2 என்ற இழுவிசையின் கீழ் புரியும் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

$$nl_2 = 100 \times N_2 \qquad \therefore N_2 = \frac{nl_2}{100}$$

இது போன்ற T_3, T_4............போன்ற இழுவிசைகளின் கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண்கள் N_3, N_4............ ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

$$\text{நாம் } \frac{N^2}{T} = \text{ மாறிலி எனக் காட்ட வேண்டும்.}$$

அஃதாவது,

$$\frac{N_1^2}{T_1} = \frac{N_2^2}{T_2} = \frac{N_3^2}{T_3} \quad \dots \quad \dots \text{ மாறிலியாகும்.}$$

$$\frac{(nl_1)^2}{100^2T_1} = \frac{(nl_2)^2}{100^2T_2} = \frac{(nl_3)^2}{100^2T_3} = \dots \text{ மாறிலியாகும்.}$$

$$\frac{l_1^2}{T_1} = \frac{l_2^2}{T_2} = \frac{l_3^2}{T_3} = \quad \dots \quad \dots \text{ மாறிலியாகும்.}$$

இவ்வாறு மறைமுகமாக இரண்டாம் விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

மூன்றும் விதி

l, T ஆகியவை மாறிலியாக இருக்கையில் $N \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ அல்லது N^2m = மாறிலி எனக் காட்டுதல் வேண்டும்.

m_1, m_2, m_3........என்னும் பல நீள அடர்த்திகள் கொண்ட சீரான கம்பிகளை T என்னும் ஒரே இழுவிசைக்கு உட்படுத்தி அப்போது ஒலிக்கவையின் N என்ற அதிர்வு எண்ணுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதிகளின் நீளங்களாகிய l_1, l_2, l_3......ஆகிய

வற்றைக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். இவற்றிலிருந்து 100 செ. மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடவேண்டும். முதல் கம்பிக்கு $Nl_1 = N_1 \times 100$ ஆகும்.

$$\text{எனவே, } N_1 = \frac{Nl_1}{100}$$

இரண்டாவது கம்பி $Nl_2 = N_2 \times 100$

$$\therefore \quad N_2 = \frac{Nl_2}{100}$$

இவ்வாறே எல்லாக் கம்பிகளிலும் 100 செ.மீ. நீளப்பகுதியின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடலாம். மூன்றும் விதியின்படி,

$$N_1^2 m_1 = N_2^2 m_2 = N_3^2 m_3 = \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{மாறிலியாகும்.}$$

$$\frac{N^2 l_1^2}{100^2} \times m_1 = \frac{N^2 l_2^2}{100^2} \times m_2 = \frac{N^2 l_3^2}{100^2} \times m_3 = \quad \ldots \quad \ldots$$

$l_1^2 m_1 = l_2^2 m_2 = l_3^2 m_3 =$ மாறிலி ஆகும். இவ்வாறு மறைமுகமாக மூன்றும் விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

இரு ஒலிக் கவைகளின் அதிர்வு எண்களை ஒப்பிட்டறிதல்

n_1, n_2 என்ற அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட ஒலிக்கவைகள் மாறாத இழுவிசையின் கீழ் ஒரு கம்பியின் l_1 செ.மீ., l_2 செ.மீ. நீளமுள்ள பகுதிகளுடன் ஒத்திசைந்தால்,

$$n_1 l_1 = n_2 l_2 \text{ ஆகும் எனக் கண்டோம்.}$$

$$\text{எனவே, } \frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1} \text{ ஆகும்.}$$

ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண் காணல்

இதனை அறிய மாறாத இழுவிசையின் கீழ் ஒரு கம்பி n_1, n_2, n_3......என்ற அதிர்வு எண் தெரிந்த பல ஒலிக் கவைகளுடன் ஒத்திசையும் நீளங்கள் முறையே l_1, l_2, l_3..... செ.மீ. என்றால் முதல் விதியின்படி,

$$nl = \text{மாறிலி என அறிவோம். அஃதாவது,}$$

$$n_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3 = \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots = K \text{ ஆகும்.}$$

K-ன் சராசரி மதிப்பினை இவ்வாறு கண்ட பிறகு அதிர்வு எண் காண வேண்டிய ஒலிக்கவையை ஒலித்து மேற்கூறிய அதே இழுவிசையின் கீழ் அதனுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளம் *L*-ஐக் காண வேண்டும். ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண் *N* என்றால்,

$$NL = K \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே, } N = \frac{K}{L} \text{ ஆகும்.}$$

அதிர்வு எண் தெரிந்த ஒலிக்கவையின் துணையின்றி ஓர் ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண் காணல்

ஒலிக்கவையின் அதிர்வு எண் *N* எனக் கொள்வோம். இதனை T_1, T_2, T_3.........என்ற இழுவிசைக்கு உட்படுத்தி அப்போது இவ்வொலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளங்களாகிய l_1, l_2, l_3............ஆகியவற்றைக் காணவேண்டும். இவற்றைக் கொண்டு $\frac{\sqrt{T}}{l}$-ன் சராசரி மதிப்பினை அறியலாம். குறிப்பிட்ட நீளமுடைய கம்பியைத் தராசில் நிறுத்து அதிலிருந்து ஒரு செ.மீ. நீளக் கம்பியின் நிறையை அஃதாவது நீள அடர்த்தியைக் (m) கண்டறியலாம். பின்னர்,

$$N = \frac{1}{2\sqrt{m}}\left(\frac{\sqrt{T}}{l}\right)$$ என்ற பொதுச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி *N*-ஐக் காணலாம்.

எடையை அறிதல், ஒப்படர்த்தி காணல்

குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலிக்கவையைப் பயன்படுத்தி, கம்பி T_1, T_2, T_3......போன்ற இழுவிசைகளுக்கு உட்படுத்தப்பட்டபோது, ஒலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதிகளின் நீளங்களாகிய l_1, l_2, l_3......ஆகியவற்றைக் காண வேண்டும் இவற்றிலிருந்து,

$$\frac{l_1^2}{T_1} = \frac{l_2^2}{T_2} = \frac{l_3^2}{T_3} = \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad = K$$

எனக் காட்டலாம்.

பின்னர்த் தெரியாத எடையை (கல் போன்ற ஒன்றை) எடை தாங்கியின் இடத்தில் கட்டித் தொங்கவிட்டு முன்பு எடுத்துக் கொண்ட அதே ஒலிக்கவையைப் பயன்படுத்தி, அதனுடன்

ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளமாகிய L-ஐக் காணவேண்டும்; காணவேண்டிய எடை W எனக் கொண்டால்-

$$\frac{L^2}{W} = K \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே } W = \frac{L^2}{K}$$

ஒரு பொருள் அல்லது திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி காணல்

மேற் குறித்த சோதனையில் கண்டவாறு K ஐக் கண்ட பிறகு பொருள் காற்றில் இருக்கையில் ஒத்திசையும் நீளம் L_1 ஐக் கண்டு பிடிக்கவேண்டும்.

$$\text{எனவே காற்றில் பொருளின் எடை } W_1 = \frac{L_1^2}{K}$$

இது போலவே பொருளை நீரில் மூழ்கச் செய்து, பின் அப்போது ஒலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளம் L_2 ஐக் கண்டுபிடித்தால்,

$$\text{நீரில் பொருளின் எடை } W_2 = \frac{L_2^2}{K}$$

இவ்வாறே பொருளைத் திரவத்தில் மூழ்கச்செய்து அந் நிலையில் ஒலிக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளம் L_3 ஐக் காணவேண்டும்.

$$\text{திரவத்தில் பொருளின் எடை } W_3 = \frac{L_3^2}{K}$$

$$\text{பொருளின் ஒப்படர்த்தி} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$= \frac{L_1^2}{L_1^2 - L_2^2}$$

$$\text{திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி} = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2}$$

$$= \frac{L_1^2 - L_3^2}{L_1^2 - L_2^2} \text{ ஆகும்.}$$

சுர அடுக்குகள்
(Harmonics)

l நீளமுடைய ஒரு கம்பி படம் a-ல் காட்டியவாறு ஒரு கணு இடைப்பகுதியாக (segment) அதிர்வுறும்போது,

$$\lambda_1 = 2l \therefore n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

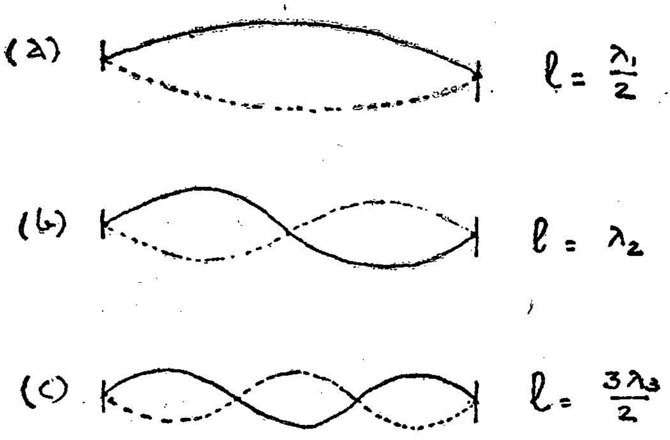
அதே நீளமுள்ள கம்பி அதே இழு விசையின் கீழ் இரண்டு, மூன்று, நான்கு......என்ற கணு இடைப்பகுதிகளாகப் படங்கள்(b) (c).........ஆகியவற்றில் காட்டியவாறு அதிர்வுறுமானால்,

$$\lambda_2 = l \therefore n_2 = \frac{1}{\lambda_2}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\lambda_3 = \frac{2}{3} l_3 \therefore N_3 = \frac{3}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore n_1 : n_2 : n_3 = 1 : 2 : 3$$



படம் 71

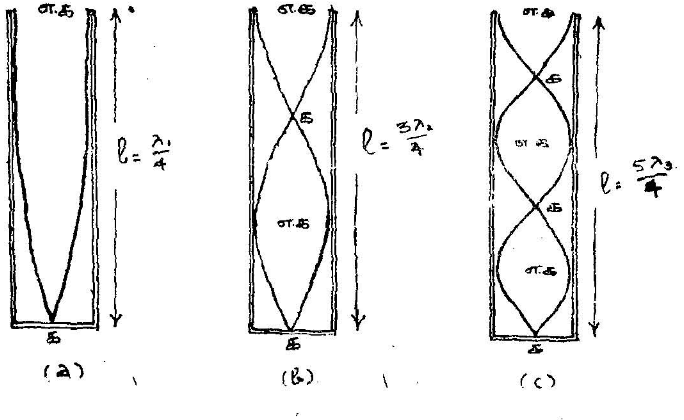
ஓர் இசைக் கருவி பல அதிர்வுகளை எழுப்புகிறது. அஃது எழுப்பும் அதிர்வுகளில் மிகக் குறைந்த அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலி, அடிப்படை அதிர்வு எண் எனப்படும். மற்ற அதிர்வு எண்கள் மேற்சுரங்கள் (overtones) எனப்படும். அடிப்படை அதிர்வு ஓங்கி ஒலிக்கும். மேற்சுரங்கள் அதைவிட அடங்கி ஒலிக்கும். அடிப்படை அதிர்வு எண்ணின் முழு எண் பெருக்குத் தொகையாக அமைந்த மேற்சுரங்கள், சுர அடுக்குகள் (harmonics) என்றழைக்கப்படுகின்றன. ஓர் இசை ஒலியில் மேற்சுரங்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவ்விசையின் தரமும் (quality) அதிகரிக்கும்.

4. காற்றுக் குழாய்களில் உண்டாகும் அதிர்வுகள்

காற்று அல்லது வாயுக்களில் உண்டாகும் ஒலி அலைகள் நெட்டலைகள் எனக் கண்டோம். உருளை வடிவக் குழாய்களில் காற்றை ஊதி அவற்றை அதிர்வுறச் செய்யலாம். அப்போது உண்டாகும் அலைகள் குழாயின் மறு முனையில் எதிரொலிப்புற்று நிலை அலைகளை உண்டாக்குகின்றன. குழாய்களின் மூடப்பட்ட முனையிலுள்ள காற்றுத் துகள்கள் அதிர்வுறுவதற்கு வழியில்லை. ஆதலால் அவ்விடத்தில் எப்போதும் கணுக்கள் உண்டாகின்றன. குழாய்களின் திறந்த முனைகளில் உள்ள காற்றுத் துகள்கள் பெரும அதிர்வுகளுக்கு உள்ளாக இடமிருப்பதால் அங்கு எதிர்க்கணுக்கள் தோன்றுகின்றன.

மூடப்பட்ட குழாய்

மூடப்பட்ட குழாயின் ஒரு முனை மூடப்பட்டும், மற்றமுனை திறந்தும் இருக்கும். குழாயின் நீளம் l என்போம். குழாய் அதன் அடிப்படை அதிர்வினை உண்டாக்கும்போது அதன் மூடப்பட்ட



படம் 72

முனையில் ஒரு கணுவும் திறந்த முனையில் ஓர் எதிர்க்கணுவும் கொண்டிருக்கும். படம் (a)-இந்நிலையில் $l = \frac{\lambda_1}{4}$ ஆகும். ஆகவே, $\lambda_1 = 4l$ $n = \frac{v}{\lambda}$ என்ற வாய்பாட்டின்படி, $n_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4l}$.

குழாயிலுள்ள காற்றை இன்னும் அழுத்தமாக ஊதினால் படம் (b), (c)-ல் காட்டியவாறு இன்னும் அதிகக் கணுக்களுடனும் எதிர்க் கணுக்களுடனும் அதிர்வுறும். இப்போது,

படம் b-ல் $l = \frac{3\lambda_2}{4} \quad \therefore \quad \lambda_2 = \frac{4l}{3}$

ஆகவே, $n_2 = \frac{v}{\lambda_2}$

$= \frac{3v}{4l}$

படம் c-ல் $l = \frac{5\lambda_3}{4} \quad \therefore \quad \lambda_3 = \frac{4l}{5}$

$n_3 = \frac{v}{\lambda_3}$

$= \frac{5v}{4l}$

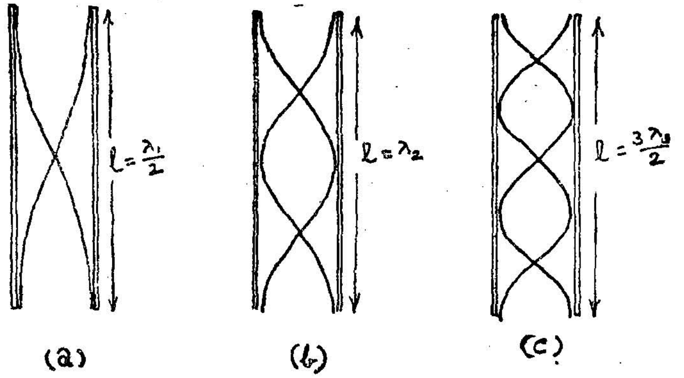
$n_1 : n_2 : n_3 = \frac{v}{4l} : \frac{3v}{4l} : \frac{5v}{4l}$

$= 1 : 3 : 5$

எனவே, மூடப்பட்ட குழாய்களில் உண்டாகும் அதிர்வுகள் அடிப்படை அதிர்வின் ஒற்றைப்படை முழு எண்களின் பெருக்குத் தொகைகளாக இருக்கும்.

இரு முனைகளிலும் திறந்துள்ள குழாய்கள்

இக் குழாய்களின் இரு முனைகளிலும் எதிர்க்கணுக்கள் உண்டாகும். குழாய் அடிப்படை அதிர்வினை எழுப்பும்போது $l = \frac{\lambda_1}{2}$ ஆகும். $\therefore \lambda_1 = 2l$ எனவே, $n_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2l}$ ஆகும். காற்றை அழுத்தமாக ஊதினால் மேலும் பல கணுக்களும் எதிர்க் கணுக்களும் உண்டாக அதிர்வு எண்கள் அதிகரிக்கும். படங்கள்



படம் 73

(a), (b), (c) என்பன திறந்த குழாய்களில் உண்டாகும் நிலை அலைகளைக் காட்டுகின்றன.

படம் *(b)*-ல் $l = \lambda_2$ ஆகும்; $n_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{l}$

படம் *(c)*-ல் $l = \frac{3\lambda_3}{2}$ ஆகும்; $n_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{3v}{2l}$

$$\therefore n_1 : n_2 : n_3 = \frac{v}{2l} : \frac{v}{l} : \frac{3v}{2l}$$

$$= 1 : 2 : 3$$

இருபுறமும் திறந்துள்ள குழாயில் உண்டாகும் மேற்சுரங்கள் எல்லாம் அடிப்படை அதிர்வின் இயல்பு எண்களின் (natural numbers) பெருக்குத் தொகைகளாக அமைந்திருப்பதைக் காணலாம்.

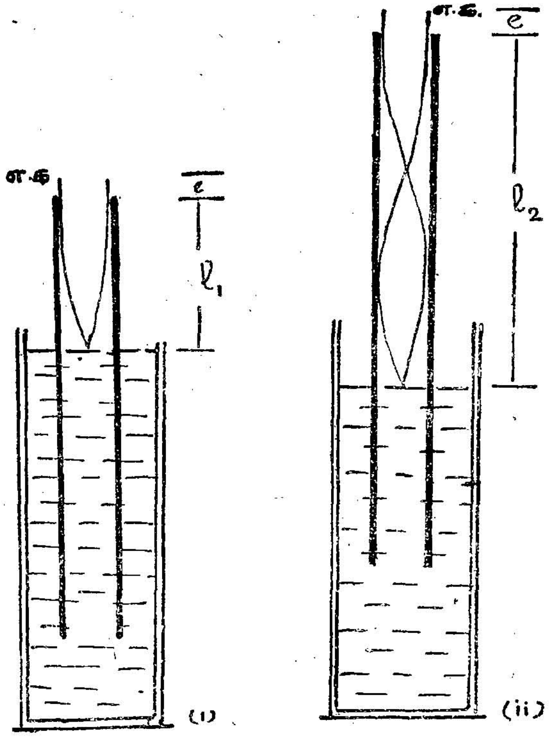
முனைத் திருத்தம் (End correction)

குழாய்களின் திறந்த முனையில் எதிர்க்கணு தோன்றுமென்று பார்த்தோம். அவ்வாறு தோன்றும் எதிர்க்கணு குழாயின் முனைக்குச் சற்று வெளியில்தான் தோன்றுகிறது. எனவே, அதிர்வுறும் காற்றுப் பகுதியின் நீளம் குழாயின் நீளத்தைவிடச் சிறிது அதிகமாயிருக்கும். குழாயின் திறந்த முனைக்கும் உண்மையில் எதிர்க்கணு உண்டாகும் இடத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் முனைத்திருத்தம் (end correction) எனப்படும். d என்னும் விட்டமுடைய உருளை வடிவக் குழாய்களின் முனைத்திருத்தம் $0{\cdot}3d$

ஆகுமென லார்ட் ரலே (Lord Rayleigh) என்ற மேதை காட்டியுள்ளார்.

காற்றில் ஒலியின் திசைவேகம் காணல்

இருபுறமும் திறந்த நீண்ட குழாய் ஒன்றை நீர் நிரம்பிய உயரமான ஜாடி ஒன்றில் செங்குத்தாக நிறுத்த வேண்டும். இப்போது குழாயின் பெரும்பகுதி நீருக்குள் இருக்கும். குழாயின் திறந்த முனை நீருக்குமேல் சிறிதளவே நீட்டிக் கொண்டிருக்கும். ஒலிக்கவை ஒன்றை ஒலித்துப் படத்தில் காட்டிய வாறு குழாயின் வாயருகே பிடித்துக் கொண்டு குழாயைச் சிறிது



படம் 74

சிறிதாக மேலே தூக்கிக் குழாயிலுள்ள காற்றுப்பகுதியின் நீளத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே வரவேண்டும். ஒரு நிலையில் பேரொலி ஒன்று ஓங்கிக் கேட்கும். இந் நிலையில் தண்ணீர் மட்டத்திற்கு மேலுள்ள குழாயின் நீளத்தை அளந்து l_1 செ.மீ. என்று குறித்துக்

கொள்ளவேண்டும். குழாயினுள்ளிருக்கும் நீர் மட்டத்தில் ஒரு கணுவும், திறந்த மேல் நுனிக்குச் சற்று மேலே எதிர்க்கணுவும் உண்டாகின்றன. சரியாகக் கூறவேண்டுமானால் எதிர்க்கணு குழாயின் விளிம்பிற்கு மேலே e செ. மீட்டரில் இருக்கிறது.

படம் 74 (1)-ல் இருந்து $\frac{\lambda}{4} = l_1 + e$ ... ... (1)

என அறிகிறோம். இங்கு λ என்பது காற்றில் ஒலியின் அலை நீளமாகும். பின்னர்க் குழாயை மேலே தூக்கிக்கொண்டே சென்று காற்றுப் பகுதியின் நீளம், ஏறக்குறைய l_1-ஐப் போல மூன்று மடங்கு ஆனவுடன் ஒலிக்கவையை ஒலித்து குழாயின் வாயருகே பிடித்தபடி குழாயைச் சிறிது மேலே தூக்கி அல்லது இறக்கிச் சீர் செய்ய, முன்போலவே பேரொலி ஒன்று கேட்கும். இந் நிலையில் நீர்ப்பரப்பிற்கு மேலுள்ள காற்றுக் குழாயின் நீளம் l_2 எனக் கொண்டால் படம் இரண்டில் காட்டியவாறு நிலை அலைகள் தோன்றும்போது,

$$\frac{3}{4}\lambda = l_2 + e \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\frac{1}{2}\lambda = l_2 - l_1$$

$$\therefore \lambda = 2(l_2 - l_1)$$

$$v = n\lambda$$

$$= n\,2(l_2 - l_1)$$

இங்கு n என்பது நாம் பயன்படுத்திய ஒலிக் கவையின் அதிர்வு எண் ஆகும். ஆய்வுச்சாலையின் இப்போதைய வெப்பநிலை $t°C$ என்றால் நாம் கண்டுபிடித்த ஒலியின் திசைவேகம், ஆய்வுச்சாலையின் வெப்பநிலையில் காற்றில் ஒலியின் திசைவேகமாகும். இதிலிருந்து $0°C$ வெப்பநிலையில் ஒலியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டறியலாம்.

$$\frac{v_0}{v} = \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

$$= \sqrt{\frac{273}{273+t}}$$

$$\therefore \ v_0 = v\left(\frac{273}{273+t}\right)^{\frac{1}{2}}$$ ஆகும்.

- **முனைத்திருத்தம் காணல்**

$$\frac{3}{4}\lambda = l_2 + e$$

$$\frac{3}{4}\lambda = 3l_1 + 3e$$ (சமன்பாடு 1-ஐ 3-ஆல் பெருக்க)

$$\therefore \ l_2 + e = 3l_1 + 3e$$

$$2e = l_2 - 3l_1$$

$$e = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$$

5. கட்டட ஒலியியல்
(Acoustics of Buildings)

திரை அரங்குகள், இசை மண்டபங்கள், பெரிய மன்றங்கள் ஆகியவற்றைக் கட்டும்போதும் அவற்றை அழகு படுத்தும் போதும் பின்வரும் ஒலியியல் பண்புகள் நல்லமுறையில் அமைந் திருக்குமாறு செய்யவேண்டும். [1] மன்றத்தின் எல்லாப் பகுதி களிலும் ஒலி தெளிவாக, சமமாகக் கேட்கும்படி செய்யவேண்டும். [2] அரங்கின் எந்த இடத்திலிருந்து கேட்டாலும் ஒலியின் தரம் மாறுமலிருக்க வேண்டும். [3] அடுத்தடுத்து உண்டாக்கப்படும் ஒலிகள் ஒன்றின்மீதொன்று ஏறிக் குழப்ப ஒலிகள் ஏற்படாத வாறும் தெளிவாகவும் கேட்கவேண்டும். [4] சில இடங்களில் ஒலி அலைகள் மிகுந்த செறிவுடனும் சில இடங்களில் குறைந்த செறிவுட னும் கேட்டல் கூடாது. அஃதாவது அரங்கில் ஒலி பிரதிபலித்த லுக்கு அல்லது ஒலி குறுக்கீட்டு நிகழ்ச்சிக்கு இடமிருக்கக்கூடாது. [5] ஒத்ததிர்வு நிகழ்ச்சியின் காரணமாகச் சில குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலிகள்மட்டும் மேலெழும்பி ஒலிப்பதற்கு இடமிருக்கக்கூடாது. எனவே அரங்கில் உண்டாக்கப்பட்ட ஒலியில் தேவையில்லாதவற்றை அடங்கி ஒலிக்கச் செய்து, தேவையான ஒலிகளை மாற்றம் ஏதுமின்றித் தகுந்த செறிவுடன் எல்லா இடங்களிலும் கேட்குமாறு செய்வதுதான் கட்டட ஒலி யியலின் முதன்மையான நோக்கமாகும்.

எதிர்முழக்கங்கள் (Reverberations)

ஒலிக்குறி ஒன்று ஓர் அரங்கில் உண்டாக்கப்பட்டவுடன் அஃது அவ்வரங்கிலுள்ள பல பொருள்களாலும் பலமுறை பிரதிபலிக்கப் பட்டு அவ்வொலி கேட்போரின் காதுகளில் மீண்டும் மீண்டும் தொடர்ந்து, குறைந்துகொண்டே செல்லும் செறிவுடன் விழு கிறது. இதனால் இவ்வொலிக்குறி குறைந்த ஆனால் குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குக் கேட்டுக்கொண்டே இருக்கிறது. இஃது எதிர்முழக்கம்

எனப்படும். இவ்வெதிர்முழக்கச் செறிவு கேட்கமுடியாத அளவு குறைந்துபோக எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் எதிர்முழக்க நேரம் எனப்படும். ஒலியியல் மேதை சபைன் (Sabine) கூற்றுப்படி ஓர் அரங்கில் எழுப்பப்பட்ட ஒலி கேட்கமுடியாத அளவு குறைந்து போவதற்கு முன்பு அங்குள்ள பல பொருள்களாலும் ஏறக்குறைய முந்நூறு முறைகள் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. ஒலியின் திசை வேகம் வினாடிக்கு 100 அடி எனக் கொண்டு எதிர்முழக்க நேரம் $T = \frac{0{\cdot}05V}{as}$ என்ற சமன்பாட்டினைச் சபைன் உண்டாக்கினார். இதில் V என்பது அரங்கின் மொத்த பருமனை (Volume) யும், a என்பது அவ்வரங்கிலுள்ள பொருள்களின் உட்கவர் எண்ணை (absorption coefficient) யும், S என்பது தளப்பரப்பினையும் (surface area) குறிக்கின்றன. எனவே $T = \frac{0{\cdot}05V}{A}$. இங்கு A என்பது ஒலி விழக்கூடிய எல்லாத் தளங்களினாலும் உட்கவரப்படும் மொத்த உட்கவர்தலைக் குறிக்கிறது. திறந்த வாயில், சன்னல் ஆகியவற்றின் உட்கவர்திறன் 100% என்று கொள்ளலாம். ஒரு சதுர அடிப் பரப்புடைய திறந்த வாயில் அல்லது சன்னலின் உட்கவர்திறன் ஓர் அலகு உட்கவர்திறன் எனக் கொள்ளப்படுகிறது. இவ் வலகு ஒரு 'சபைன்' என்றழைக்கப்படுகிறது.

ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் ஓர் உட்கவர்தல் எண் உண்டு. கூட்டத்தில் உள்ள ஒவ்வொருவரும் 4·6 சதுர அடிப்பரப்புடைய திறந்த சன்னலுக்குச் சமமாவர். பல அரங்குகளில் நடைமுறையில் கண்ட அனுபவங்களிலிருந்து சொற்பொழிவு நடைபெறுமிடங்களில் இருக்க வேண்டிய தக்க எதிர் முழக்க நேரம் 1·5 வினாடிகள் என்றும், இசை நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறும் அரங்குகளில் இருக்க வேண்டிய தகுந்த எதிர் முழக்க நேரம் 2·3 வினாடிகள் என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. எதிர் முழக்க நேரத்தை விரும்பியவாறு, திரைச்சீலைகள், பாய்விரிப்புகள் போன்ற சாதனங்களைக் கொண்டு தேவையான அளவுக்கு எளிதாக மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

எதிரொலிகள் (Echoes)

அரங்கின் சுவர், மற்றும் மேற்கூரை போன்றவற்றால் பிரதிபலிக்கப்படும் ஒலிகள் கேட்போருக்குப் பெருந்தொல்லை தருவன ஆகும். ஏனெனில் கேட்ட ஒலியின் செறிவு குறைந்து மறைந்த பின்பு மற்றோர் ஒலி நம் காதுகளில் விழுகின்ற நேரத்தில் சுவர், கூரை ஆகியவற்றால் எதிரொலிக்கப்பட்ட ஒலி நம் காதுகளில் விழுகிறது. இதுவே எதிரொலி எனப்படும். இதனை அறவே நீக்குதல்வேண்டும். இதை நீக்கச் சுவரை, ஒலியை உட்கவரும்

பொருள்களைக்கொண்டு மூடவேண்டும். சுவர் வழவழப்பாக இல்லாமலும் மேடுபள்ளங்கள் அதிகமுடையதாகவும் அமைக்க வேண்டும். அரங்கில் நிறைய வாயில்களும், சன்னல்களும் அமைக்கவேண்டும்.

ஒலிக்குவிப்பும் குறுக்கீடும்
(Focussing & interference)

சுவர், கூரை ஆகியவற்றால் ஒலி குறிப்பிட்ட திசைகளில் அல்லது புள்ளிகளில் எதிரொலிக்கப்படும் போது சில இடங்களில் மட்டும் ஒலி குவிக்கப்படுகிறது. ஒலிபெருக்கி அமைப்பு முறைகளினால் ஒலி குறுக்கீடு விளைவதுண்டு. அல்லது வேறு முறைகளிலும் குறுக்கீடு நிகழும்போது சில இடங்களில் பெரும ஒலிச் செறிவும். சில இடங்களில் சிறும ஒலிச்செறிவும் ஏற்படும். உட்கவர் திறன் கொண்ட பொருள்களும், பளபளப்பில்லாத சிற்ப அழகு அமைப்புகளும் நிறைய இருந்தால் மேற்கூறிய விளைவுகள் தவிர்க்கப்பட்டு ஒலி எல்லா இடங்களிலும் சீரான செறிவுடன் கேட்கும்.

ஒத்ததிர்வு விளைவு (Resonance effect)

கட்டடத்திலுள்ள கூடுபோன்ற பகுதிகளும் பொந்துகளும் அரங்கில் எழும் ஒலி அதிர்வுகள் பலவற்றுள் அவற்றின் இயல்பு அதிர்வெண்ணுடன் ஒத்த அதிர்வுகளுடன் ஒத்ததிர்ந்து பேரொலியை எழுப்புகின்றன. இதனால் பேச்சின் இனிமையும் இசையின் சுவையும் கெட்டு விடுகின்றன. பொதுவாகப் பெரிய அரங்குகளில் வினாடிக்கு 100 அதிர்வுகளுக்கு மேலுள்ள அதிர்வுகள் ஒத்ததிர்வு விளைவுகள் உண்டாக்குவதில்லை. ஒலி அலைகள் விரிந்துச் செல்லுமாறு செய்யக் கூடிய குவிதளப் பகுதிகளைச் சுவர்களிலும் கூரையிலும் ஏற்படுத்தினால் ஒத்ததிர்வு மற்றும் எதிரொலி போன்ற இடையூறுகள் பெருமளவு குறைந்துவிடும்.

6. புலனாகா ஒலியியல்
(Ultrasonics)

நம் செவி வினாடிக்கு 20முதல் 20,000 அதிர்வுகள் வரையில் அமைந்த ஒலி அலைகளை மட்டுமே கேட்க இயலும் என்பது நாம் அறிந்த உண்மையாகும். வினாடிக்கு 20,000 அதிர்வுகளுக்குமேல் உள்ள ஒலி அலைகளை புலனாகா ஒலி அலைகள் (ultrasonics) என்கிறோம். இவ்வகை ஒலி அலைகள், வினாடிக்கு 20,000 முதல் 500 மில்லியன் அதிர்வுகள் வரை கொண்டிருக்கின்றன. காற்றில் ஒலியின் திசைவேகம் அறையின் வெப்ப நிலையில் சுமார் வினாடிக்கு 350 மீட்டர்கள் என அறிவோம். இதை வைத்துக் கணக்கிடும் போது புலனாகா ஒலி அலைகளின் அலை நீளங்கள் 1·75 செ. மீட்டரிலிருந்து 0·00007 செ. மீட்டர் வரை இருப்பதை அறியலாம். புலனாகா ஒலியின் மிகச் சிறிய அலை நீளம் ஏறக்குறைய புலனாகும் சிவப்பு நிற ஒளியின் அலை நீளத்திற்குச் சமமாக இருக்கக் காண்கிறோம். இவ்வலைகள் நீளத்தில் மிகச் சிறியனவாக இருந்தாலும் ஒலியின் எல்லா வகையான விதிகளுக்கும் உள்ளடங்கியே செயற்படுகின்றன.

ஃபீசோ மின் விளைவு

குவார்ட்ஸ், டூர்மலின் போன்ற சில படிகங்கள் குறிப்பிட்ட முறையில் தகடுகளாக வெட்டப்பட்டு, அத்தகடுகளின் முகங்களுக்கு இடையே ஓர் அழுத்தம் நிலவச் செய்யப்படும்போது அவைகளின் முகங்களுக்கு இடையே சமமான ஆனால் எதிர் மின்னூட்டங்கள் தோன்றுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி ஃபீசோ மின் விளைவு (Piezoe electric effect) எனப்படும். ஒரு படிகத்தின் எத்திசையில் அழுத்தம் தரப்படும் போது இந் நிகழ்ச்சி நடைபெறுகிறதோ அத்திசை ஃபீசோ மின் விளைவு அச்சு எனப்படும். இவ்வாறு உண்டாகும் மின்னூட்டம் அழுத்தத்திற்கு தொடர்புடையதாக இருக்கிறது. இப்படிகத் தகட்டின் முகங்களில் திசைமாறிச் செயற்படும் மின்புலம் ஒன்றைக் கொடுத்தால் அத்தகடு மீட்சி அலைவுகளுக்கு (elastic oscillation) உள்ளாகிறது. ஒவ்வொரு

தகட்டிற்கும் இயல்பு அதிர்வு எண் (natural frequency) ஒன்று உண்டு. நாம் பயன்படுத்தும் திசைமாறு மின்புலத்தின் அதிர்வு எண் படிகத் தகட்டின் இயல்பு அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமானால் தகடு ஒத்ததிர்வு செய்யும் அப்போது ஆற்றல் உச்ச நிலை அடையும் அப்போது புலனாகா ஒலி அலைகள் உண்டாகும்.

தகுந்த அளவுள்ள குவார்ட்ஸ் தகடுகளை தக்கபடி வெட்டி யெடுத்து தேவையான அதிர்வுகளைத்தரும் வால்வு அலைப்பான் (Valve oscillator) ஒன்றின் உதவியால் பெற்ற திசைமாறு மின்னழுத்தங்களை தகட்டின் இருமுனையுடனும் இணைக்க ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு, தகடு பெருமவீச்சுடன் அதிர, வால்வு அலைப்பானின் அதிர்வு எண் கொண்ட புலனாகா ஒலி அலைகள் உண்டாகும். அலைப்பான் சுற்றில் உள்ள மின் தேக்கியின் மின்தேக்குதிறனை சிறிது சிறிதாக மாற்றினால் அலைப்பான் தருகின்ற திசைமாறு மின்னழுத்த அலைவுகளின் எண்ணிக்கையும் மாறிக் கொண்டே வரும். குவார்ட்ஸ் தகட்டின் இயல்பு அதிர்வு எண் அலைப்பானின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாக வரும்போது ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு வலிமை மிக்க புலனாகா ஒலி அலைகள் உண்டாகும்.

புலனாகா ஒலி அலைகளின் பயன்கள்

(1) சில திரவங்கள் ஒன்றோடொன்று கலப்பது இல்லை. எவ்வளவு கலக்கினாலும் அவை தனித்தனியே நிற்கக் காணலாம். எடுத்துக்காட்டாக நீரும் எண்ணெயும் இவற்றைக் கலக்கிப் பிரித்தறிய முடியாத குழம்பாகச் செய்வதற்கு புலனாகா ஒலி அலைகளைப் பயன்படுத்துகிறார்கள்.

(2) புலனாகா அலைகளைக் கொண்டு உலோகப் பாளங்கள் அல்லது வார்ப்படங்கள் அல்லது மரங்கள் இவைகளில் காணப் படக்கூடிய போரை போன்ற உட்குழிவுகளைக் கண்டறிய முடிகிறது.

(3) நீர்மூழ்கிக்கப்பல் செல்லும்போது எதிரே உள்ள பாறைகள் அல்லது பனிப்பாறைகள் (ice bergs) இவற்றைக் கண் டறிய புலனாகா ஒலி அலைகளைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். இவ்வலை கள் ராடாரில் இருந்து செலுத்தப்படும் துடிப்புக்களைப் போல கப்பல் செல்லும் திசையில் செலுத்தப்படுகின்றன. ஏதேனும் தடை எதிரே இருக்குமானால் இவ்வலைகள் எதிரொலிக்கப்பட்டு மீண்டும் கப்பலை அடையும் அதைக் கொண்டு தடைகளையும் அவற்றின் தூரத்தையும் அறியலாம். மேலும் இவ்வலைகள்

குறைந்த அலை நீளத்திலைக் கொண்டிருப்பதால் குறிப்பிட்ட திசையில் அனுப்ப இயலுகிறது. எனவே கடலடியில் சமிக்ஞைகள் மூலம் செய்திகளை அனுப்பமுடிகிறது.

(4) கடலின் ஆழம் காண்பதற்கு இப்புலனுகா ஒலி அலைகள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. இந்த அலைகள் செங்குத்தாக கீழ் நோக்கி செலுத்தப்பட்டு அவற்றின் எதிரொலிகள் பெறப்படுகின்றன. ஒலி சென்று மீள்வதற்கான காலத்தைத் துல்லியமாக அளவிடுவதன் மூலம் கடலின் ஆழம் கணிக்கப்படுகிறது.

(5) புலனுகா ஒலி அலைகள் நுண்ணுயிர்களில் உயிரியல் மாற்றங்களை விளைவிக்கின்றன; சில வகை உயிரினங்களின் வீரியம் இவ்வலைகளால் குறைக்கப்படுகின்றது; இன்னும் சிலவகை உயிரினங்களின் வீரியம் இவ்வலைகளால் தூண்டப்படுகிறது.

நிலைமின்னியல்

(ELECTROSTATICS)

நிலைமின்னியல்

அறிமுகம்

முன்னுரை

அசையாது நிலையாக இருக்கின்ற மின்னூட்டங்கள் (charges) பற்றிய கருத்துக்களை 'நிலைமின்னியல்' (electrostatics) என்னும் தலைப்பில் காண்பர். மின்னூட்டங்களின் இயக்கம் பற்றிய கருத்துக்கள் மின்னோட்டவியல் (current electricity) என்னும் தலைப்பின் தரப்படும்.

நேர் மின்னூட்டம் என்றும் எதிர் மின்னூட்டம் என்றும் இருவகைப்பட்ட மின்னூட்டங்கள் உண்டு என்பதும், ஒரேவித மின்னூட்டங்கள் ஒன்றை ஒன்று விரட்டுகின்றன என்பதும், எதிரிடையான மின்னூட்டங்கள் ஒன்றை ஒன்று ஈர்க்கின்றன என்பதும் கீழ் வகுப்புகளில் நாம் கண்ட சில உண்மைகளாகும்.

அணுவின் மையத்தில் நியூக்ளியஸ் (nucleus) எனப்படும் அணுக்கரு உள்ளது. அந்த அணுக்கருவில் அணுவின் நேர் மின்னூட்டம் முழுவதும் அடங்கியுள்ளது. அணுவின் எடையில் பெரும்பகுதியும் அந்த அணுக்கருவில்தான் உள்ளது. அணுக்கருவின் நேர் மின்னூட்டத்திற்குக் காரணமாக அமைவது அதிலுள்ள புரோட்டான்கள் (protons) ஆகும். அணுக்கருவின் நிறைக்குக் காரணமாய் அமைவன, அங்குள்ள புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் (neutrons) ஆகும். புரோட்டான்களின் எடை அளவு எடை உள்ளதும், ஆனால் மின்னூட்டம் ஏதும் இல்லாததுமான துகள் தான் நியூட்ரான் ஆகும்.

எதிர் மின்னூட்டம் கொண்டதும், குறிப்பிடத்தக்க எடையில்லாததுமான எலெக்ட்ரான் (electron) என்னும் துகள்கள் அணுக்கருவைச் சூழ்ந்து வெவ்வேறு வரையறுக்கப்பட்ட பாதைகளில் சுற்றி வருகின்றன. அணுக்கருவிலிருந்து மிகத் தொலைவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் மீது அணுக்கருவின் ஆதிக்கம் மிக மிகக் குறைவாகும். அத்தகைய எலெக்ட்ரான்களை மிகக் குறை

வான ஆற்றலைச் செலவிடுவதன் மூலம் அணுவின் ஆதிக்கத்தி லிருந்து பிரித்து விடலாம். இவை அணுவுடன் வலிய கட்டப் படாமலிருப்பதால் இவற்றைக் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (free electrons) என்கிறோம். மின் கடத்து பொருள்களில் மேற்கூறிய கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பதால் தான் மின்னோட்டம் நடைபெறுகிறது.

ஒரு கண்ணாடித் தண்டு, உலர்ந்த பட்டுத் துணியால் தேய்க்கப் படும் போது கண்ணாடித் தண்டு நேர் மின்னூட்டமும், பட்டுத் துணி எதிர் மின்னூட்டமும் பெறுகின்றன என அறிவோம். இது எவ்வாறு நிகழ்கிறது? கண்ணாடித் தண்டும், பட்டுத் துணியும் ஒன்றோடொன்று உராயும் போது உண்டாகும் சிறிய உராய்வு விசை கண்ணாடித் தண்டிலிருந்து சில எலெக்ட்ரான்களை நீக்கி அவற்றைப் பட்டுத் துணியில் சேர்த்து விடுகிறது. சில எலெக்ட்ரான்களை இழந்த கண்ணாடித் தண்டு தன் இயல்பான மின்னூட்டமற்ற நிலையிலிருந்து மாறி நேர் மின்னூட்ட நிலையைப் பெறுகிறது. சில எலெக்ட்ரான்களை அடைந்த பட்டுத் துணி எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெறுகிறது. கண்ணாடி அடைந்த நேர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் பட்டுத்துணி அடைந்த எதிர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் சமமாய் இருப்பதைக் காணலாம். எலெக்ட்ரான் சுமந்து செல்லும் மின்னூட்டத்தின் அளவு $1{\cdot}6021 \times 10^{-19}$ கூலம் ஆகும். நாம் காணும் மற்றெல்லா வகையான மின்னூட்டங்களின் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் முழு எண் மடங்குகளாகவே இருக்கும்.

1. இருமடி எதிர் விகித விதி (Inverse square law)

இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே உண்டாகும் ஈர்ப்பு அல்லது எதிர்ப்பு விசை அவ்விரு மின்னூட்டங்களுக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தின் இருமடிக்கு (square) எதிர் விகிதத்திலும், அவ்விரு மின்னூட்டங்களின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலும் இருக்கும் என்ற உண்மையை கூலம் (Coulomb) என்பார் கண்டறிந்து கூறினார். இது கூலம் விதி அல்லது இருமடி எதிர் விகித விதி எனப்படும்.

Q_1 மற்றும் Q_2 என்னும் இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் r என்போம். இவற்றிற்கு இடையே உண்டாகும் விசை F என்றால் இருமடி எதிர் விசைக்கேற்ப

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ ஆகும்.}$$

$$F = A\frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ என எழுதலாம்.}$$

இங்கு A என்பது ஒரு விகிதமாறிலி ஆகும். தற்போது புதிதாக நடைமுறைக்கு வந்துள்ள 'அறிவார்ந்த மீட்டர் கிலோ கிராம் செகண்ட் முறையில்' (Rationalised Metre, Kilogram Second system) A-ன் மதிப்பு $= \frac{1}{4\pi K}$ ஆகும். இதில் K என்பது மின்னூட்டங்கள் அமைந்துள்ள இடத்தின் சார்பற்ற செலுத்துகைத் திறன் (absolute permittivity) ஆகும். வெற்றிடம் அல்லது காற்றின் செலுத்துகைத் திறன் K_o எனப் படும். அதன் மதிப்பு $K_o = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ ஆகும். ஓர் ஊடகத்தின் சார்பற்ற செலுத்துகைத் திறன் K என்றும் சார்பு செலுத்துகைத் திறன் K_r என்றும் வெற்றிடத்தின் அல்லது கட்டற்ற இடத்தின் (free space) செலுத்துகைத் திறன் K_o என்றும் கொண்டால்

$$K_r = \frac{K}{K_o} \text{ அல்லது } K = K_r \cdot K_o \text{ ஆகும்.}$$

எனவே பொதுவாக ஏதோ ஓர் ஊடகத்தில் அமைந்துள்ள இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே உண்டாகும் நிலை மின்னியல் விசையினைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi K r^2}$$

$$= \frac{Q_1 Q_2}{4\pi K_o K_r r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

கட்டற்ற இடத்தில் $K_r = 1$ ஆகும். எனவே கட்டற்ற இடத்திலமைந்த இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள விசையினை

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi K_o r^2} \text{ எனக் குறிப்பிடலாம்.}$$

நிலை மின்னழுத்தமும் (Electrostatic Potential) & நிலை மின்புலமும் (Electrostatic field)

1. மின்புலம்

மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு பொருளைச் சூழ்ந்துள்ள அம் மின்னூட்டத்தின் ஆதிக்கம் காணப்படுகின்ற பகுதிக்கு அம் மின்னூட்டத்தின் நிலை மின்புலம் (electrostatic field) என்று பெயர்.

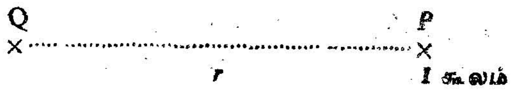
மின் புலம் என்பது ஒரு வெக்டர் அளவு ஆகும்.

ஒரு மின்புலத்தின் வலிமை அல்லது செறிவினைப் பின்வருமாறு அளவிடலாம். மின்புலத்தின் எந்த ஒரு புள்ளியில் வலிமைக் காணவேண்டுமோ அந்த இடத்தில் ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டம் ஒன்றை வைத்து, அப்புலம் அம்மின்னூட்டத்தின் மீது தருகின்ற விசையைக் கணக்கிட வேண்டும். இவ்வாறு விசையைக் கணக்கிட நாம் வைக்கின்ற அலகு மின்னூட்டத்தினால் புலம் பாதிக்கப்படவில்லை என்று வைத்துக் கொள்கிறோம் என்பதை மறத்தலாகாது.

புதிய RMKS முறையில் ஓர் அலகு மின்னூட்டம் என்பது ஒரு கூலம் ஆகும். எனவே மின்புலத்தின் வலிமை காண வேண்டிய புள்ளியில் ஒரு கூலம் மின்னூட்டம் ஒன்றை வைத்து, புலம் அம்மின்னூட்டத்தின் மீது செலுத்துகின்ற விசையினை நியூட்டன்களில் அளவிட வேண்டும். புலத்தின் வலிமை அல்லது செறிவு நியூட்டன்கள்/கூலம் என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

Q என்னும் மின்னூட்டத்திலிருந்து r தூரத்தில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படுகின்ற புல வலிமையை பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். E என்பது அப்புள்ளியில் காணும் புல வலிமை என்போம்.

Q–ல் இருந்து r தூரத்தில் உள்ள P என்ற புள்ளியில் ஒரு கூலம் மின்னூட்டம் ஒன்று வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இருமடி



படம் 75

எதிர்விகித விதியின்படி அம்மின்னூட்டத்தின் மீது உண்டாகும் விசை

$$F = \frac{Q \cdot 1}{4 \pi K_o K_r r^2} \text{ நியூட்டன்கள்}$$

எனவே புல வலிமையின் வரையறைப்படி அப்புள்ளியில் புலவலிமை

$$E = \frac{Q}{4 \pi K_o K_r r^2} \text{ நியூட்டன்/கூலம் ஆகும்.}$$

$$= \frac{Q}{4 \pi K r^2} \text{ நியூட்டன்/கூலம்}$$

$$(\because \; K = K_r \cdot K_o)$$

2. நிலை மின்னழுத்தம்

படத்தில் O என்ற புள்ளியில் $+Q$ மின்னூட்டம் ஒன்று உள்ளது. அதனைச் சூழ்ந்துள்ள இடத்தில் A, B என்பன இரு புள்ளிகள். B-ல் ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டம் ஒன்றை வைப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது B-ல் உள்ள மின்னூட்டத்தின் மீது OB என்ற திசையில் ஓர் எதிர்ப்பு விசை உண்டாகும். எனவே B-ல் இருந்து A-க்கு மேற்கூறிய ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்ல வேண்டுமென்றால் புலத்தின் எதிர்ப்பு விசைக்கு எதிராக ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வேலை செய்தாக வேண்டும்

படம் 76

என்பதை உணரலாம். இவ்வாறு ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டத்தை மின் புலவலிமைக்கு எதிராக, மின் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு எடுத்துச் செல்வதற்குத் தேவைப்படுகின்ற வேலையின் அளவே அவ்விரு புள்ளிகளுக்குமிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு (Potential difference) ஆகும்.

ஒரு மின்னூட்டத்திலிருந்து மிக மிகத் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் அதன் ஆதிக்கம் இல்லை எனக் கொள்ளலாம். அத்தகைய புள்ளிக்கு தொலைப்புள்ளி (infinity point) என்று பெயர்.

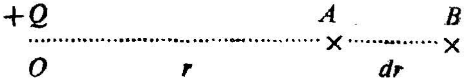
மேலே குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சியில் B என்பது தொலைப்புள்ளி என்றும் A என்பது Q-க்கு அருகில் குறிப்பிட்ட ஒரு தூரத்தில்

உள்ள புள்ளி என்றும் கொண்டால், தொலைப் புள்ளியிலிருந்து ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டத்தை மின் புல விசைக்கு எதிராக A என்ற புள்ளிக்குக் கொண்டு வருவதற்குச் செலவிடப்படும் வேலையின் மொத்த அளவிற்கு A என்னும் புள்ளியில் காணப்படும் **மின்னழுத்தம் (Potential)** என்று பெயர்.

ஒரு மின்புலத்தில் உள்ள ஏதோ ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு ஓர் அலகு மின்னூட்டத்தைக் கொண்டு செல்ல வேலைத் தேவைப்படவில்லையென்றால் அந்த இரு புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சமம் என்று பொருள். அப்படிப்பட்ட பல புள்ளிகளைக் கொண்ட ஒரு தளம் இருப்பின் அதற்கு **சம மின்னழுத்தத் தளம் (Equipotential Surface)** என்று பெயர்.

3. **மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்புலத்திற்குமுள்ள தொடர்பு**

மேற்கூறிய படத்தில் A, B என்பன மின்புலத்திலமைந்த ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகிலுள்ள இரு புள்ளிகள் எனக் கொள்வோம். A மற்றும் B-க்கு இடையே உள்ள தூரம் dr என்போம். A-க்கும் B-க்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு dv என்றும் O-ல் இருந்து A என்ற புள்ளியின் தூரம் r என்றும் கொள்வோம்.



படம் 77

A-யும் B-யும் அருகருகே இருப்பதால் A-க்கும் B-க்கும் இடையே உள்ள இடத்தில் காணப்படும் புலம் சீரான புலம் எனக் கொள்ளலாம்.

$$\left.\begin{array}{l}A\text{-யில் காணப்படும்}\\ \text{புல வலிமை}\end{array}\right\} = \frac{Q}{4\pi K r^2}$$

$$= E \text{ என்போம்.}$$

A-யும் B-யும் அருகருகே இருப்பதால் B-ல் காணும் புலவலிமையையும் E என்றே கொள்வோம்.

ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டத்தை B-யிலிருந்து A-க்குக் கொண்டு செல்ல செலவிடும் வேலையின் அளவுதான் அவ்விரு

புள்ளிகளுக்குமிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடாகும். அதாவது dv

$$\text{எனவே } -E \times dr = dv \text{ ஆகும்.}$$

இது விசைக்கு எதிராகச் செய்யப்படும் வேலை ஆகையால் — எதிர்க் குறி பெற்றிருக்கிறது. ஆகவே

$$E = -\frac{dv}{dr} \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது ஒரு மின்புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் உள்ள புல வலிமை என்பது அப்புள்ளியில் கணக்கிடப்படும் எதிர் மின்னழுத்தச் சரிவு (Negative potential gradient) ஆகும்.

மேலும் $dv = -E\,dr$ ஆகும்.

எனவே A மற்றும் B என்ற இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் காண

$$V_A - V_B = \int_B^A dv = -\int_B^A E\,dr$$ என்னும் வாய்பாட்டினைப் பயன்படுத்தலாம்.

$$V_A - V_B = -\int_{r_B}^{r_A} \frac{Q}{4\pi K r^2}\,dr$$

$$= -\frac{Q}{4\pi K}\left[\frac{1}{r}\right]_{r_B}^{r_A}$$

$$= -\frac{Q}{4\pi K}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right]$$

B என்பது தொலைப்புள்ளியானால் $r_B = \infty$ ஆகவே

$$V_A = -\frac{Q}{4\pi K}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{\infty}\right]$$

$$= -\frac{Q}{4\pi K}\left[\frac{1}{r_A}\right]$$

$$= -\frac{Q}{4\pi K r_A}$$

எனவே Q என்ற மின்னூட்டத்திலிருந்து r என்னும் தூரத்தில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் மின்னழுத்தம் $V = \frac{Q}{4 \pi K r}$ வோல்ட் ஆகும். இங்கு — குறி நீக்கப்பட்டது அறிக. ஏனெனில் வேலை விசைக்கு எதிராக செய்யப்படுகிறது என்பதைக் குறிக்கவே — குறி பயன்படுத்தப்பட்டது. மின்னழுத்தத்தைக் குறிக்க அது தேவை இல்லை எனவே நீக்கப்பட்டது.

r என்னும் ஆரங்கொண்ட ஒரு கோள வடிவக் கடத்திக்கு Q என்ற மின்னூட்டம் தரப்படுகிறது. அதன் பரப்பின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் மின்னழுத்தம் V என்றால்

$$V = \frac{Q}{4 \pi K r} \text{ வோல்ட் ஆகும்.}$$

மின்னூட்டப் பங்கீடு (Distribution of charge)

மின்னூட்டப்பட்டப் பரப்பின் ஓர் அலகுப் பரப்பில் காணப்படும் மின்னூட்டத்திற்குப் பரப்புச் செறிவு அல்லது பரப்பு அடர்த்தி (surface density) என்று பெயர். இதனை σ என்னும் எழுத்தால் குறிப்பது மரபு. ஆகவே கோளப் பரப்பின் மீது பரவியுள்ள மின்னூட்டம் $Q = 4 \pi r^2 \sigma$ ஆகும்.

$$\text{எனவே } V = \frac{4 \pi r^2 \sigma}{4 \pi K r}$$

$$= \frac{r \sigma}{K}$$

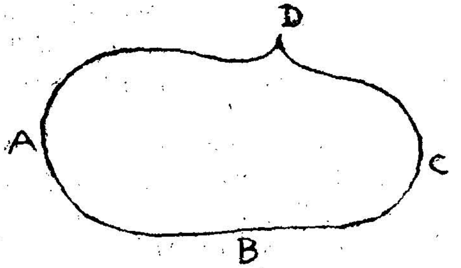
$$\therefore \sigma = \frac{K \cdot V}{r}$$

என மின்னூட்டப்பட்ட பரப்பின் மீதுள்ள ஒரு பகுதியில் காணப்படும் பரப்புச் செறிவு, அவ்விடத்தின் வளைவு ஆரத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்குமென அறிகிறோம். அதாவது வளைவு ஆரம் குறைவாக உள்ள இடங்களில் பரப்புச் செறிவு அதிகமாகவும், வளைவு ஆரம் அதிகமான இடங்களில் பரப்புச் செறிவு குறைவாகவும் இருக்கும் என உணரலாம்.

முனைவினை (Action of point)

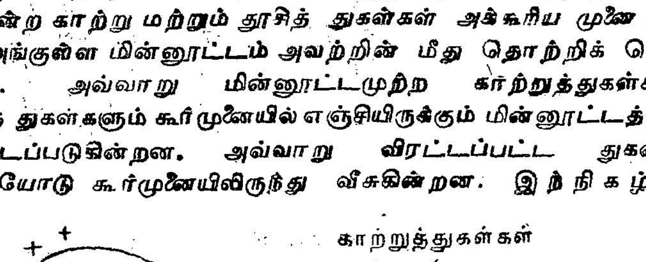
படத்தில் காட்டியுள்ளது போலமைந்த ஒரு கடத்திக்கு மின்னூட்டம் தரப்பட்டால் கொடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் எல்லா இடங்களுக்கும் சீராகப் பரவாது. A என்பது ஓரளவு

வளைவு ஆரம் உள்ளப் பகுதி, B என்பது சமதளப் பகுதி எனவே அங்கு வளைவு ஆரம் மிகமிக அதிகம். அதாவது ∞ ஆகும். C என்ற பகுதியின் வளைவு ஆரம் A-ஐவிடக் குறைவு. D-ன் வளைவு ஆரம் மிகமிகக் குறைவு. எனவே D-ல் பரப்புச் செறிவு மிகமிக அதிகமாகவும் C-ல் D-ஐவிடக் குறைவாகவும் A-ல் C-ஐவிடக் குறைவாகவும் B-ல் மிகமிகக் குறைவாகவும் இருக்குமென அறியலாம்.



படம் 78 (a)

கடத்தியில் உள்ள D என்ற கூர் முனையில் மின்னூட்டப் பரப்புச் செறிவு மிகமிக அதிகமாக இருப்பதால் அதற்கு அருகே வருகின்ற காற்று மற்றும் தூசித் துகள்கள் அக்கூரிய முனை மீது பட அங்குள்ள மின்னூட்டம் அவற்றின் மீது தொற்றிக் கொள்கிறது. அவ்வாறு மின்னூட்டமுற்ற காற்றுத்துகள்களும் தூசித் துகள்களும் கூர்முனையில் எஞ்சியிருக்கும் மின்னூட்டத்தால் விரட்டப்படுகின்றன. அவ்வாறு விரட்டப்பட்ட துகள்கள் விசையோடு கூர்முனையிலிருந்து வீசுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி



படம் 78 (b)

முனைவினை (action of point) எனப்படும். கூரிய முனைக்கு எதிரே எரிகின்ற மெழுகுவர்த்திச் சுடரைக் காட்டினால் முனைவினையின் காரணமாக வீசுகின்ற மின்காற்று (electric wind) சுடரை அணைத்துவிடுமளவிற்கு வலிமை கொண்டதாக இருப்பதைக் காணலாம்.

மின்னல் தடுப்பான் (Lightening arrester)

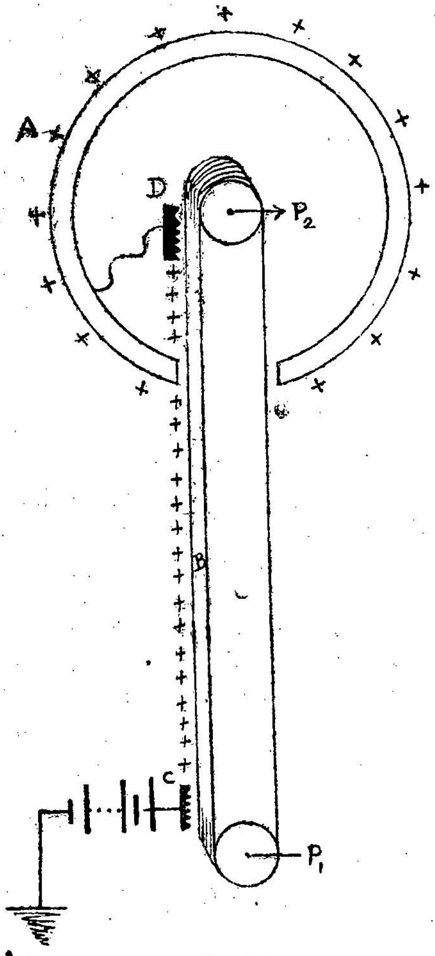
மின்னல் தாக்கிக் கட்டிடங்கள் சேதமுறாமல் தடுப்பதற்கு அக்கட்டிடங்களில் பொருத்தப்படும் அமைப்பே மின்னல் தடுப்பானாகும். இவ்வமைப்பில் கட்டிடத்தின் உச்சியிலிருந்து தரைக்கு ஒரு செம்பு அல்லது இரும்புத் தண்டு காணப்படுகிறது. கீழ்முனையில் தரை இணைப்புத் தகடு (earth plate) ஒன்றுள்ளது. இத்தகடு எப்போதும் ஈரமாக இருக்கும் பொருட்டு பூமிக்கு அடியில் நல்ல ஆழத்தில் புதைக்கப்பட்டிருக்கும். தண்டின் மேல் முனை கட்டிடத்திற்கு மேல் நீட்டிக் கொண்டிருப்பதோடு உச்சியில் பல நீண்ட கூர்மையான முட்கள் கொண்டதாகவும் இருக்கிறது.

கட்டிடத்திற்கு அருகே நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட ஒரு மேகம் வருவதாகக் கொள்வோம். இப்போது மின்னல் தடுப்பானின் மேல் முனையில் மின்தூண்டல் காரணமாக எதிர் மின்னூட்டமும் கீழ் முனையில் நேர் மின்னூட்டமும் உண்டாகின்றன. தூண்டப்பட்ட நேர் மின்னூட்டம் தரைத் தகட்டால் - பூமிக்குள் சென்று விடுகிறது கூரிய முள் முனைகளில் முனைவிளைவின் காரணமாகச் செறிவு அதிகமாக, அதைச் சூழ்ந்துள்ள ஏராளமான காற்று மற்றும் தூசித் துகள்கள் அந்த எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்று கூரிய முனைகளில் எஞ்சியுள்ள எதிர் மின்னூட்டத்தால் விரட்டப்பட்டு மேகத்தை நோக்கி விரைந்து சென்று அதிலுள்ள நேர் மின்னூட்டத்தைத் தாங்கள் சுமந்து வந்த எதிர் மின்னூட்டத்தால் சமப்படுத்திவிடுகின்றன. இவ்வாறு மேகத்திற்கும் கட்டிடத்திற்குமிடையே பாயவிருந்த மின்னல் தடுக்கப்படுகிறது.

ஃவாண்டி கிராஃப் மின்னியற்றி (Van de Graaf Generator)

மிக அதிக மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்க உருவாக்கப்பட்ட பல வகையான மின்னியற்றிகளில் ஃவாண்டி கிராஃப் மின்னியற்றி சிறப்பானது. இதில் மின்காப்பிடப்பட்ட தூண்களின் மீது *A* என்ற ஓர் உலோகத்தாலான கோளம் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. *B* என்பது ஒரு முடிவற்ற பெல்ட். இது ரப்பர் போன்ற ஒரு காப்பிடும் பொருளால் செய்யப்பட்டிருக்கும். இந்த பெல்ட் படத்தில் காட்டியவாறமைந்துள்ள P_1 மற்றும் P_2 என்னுமிரு கப்பி உருளைகளின்மீது சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. P_1 என்ற உருளை ஒரு மின் மோட்டாரால் இயக்கப்படுகிறது. *C* மற்றும் *D* என்பன 'கூர் முனைகள் பல கொண்ட உலோகச் சீப்புகள் (metal combs) *C* என்னும் உலோகச் சீப்பு

படத்தில் காட்டியவாறு ஒரு மின்கல அடுக்கின் நேர் மின்வாயுடன் இணைக்கப்பட, எதிர் மின்வாய் தரையிடப்பட்டுள்ளது. D என்ற உலோகச் சீப்பு கோளத்தினுள் அமைக்கப்பட்டு கோளத்தின் உட்சுவருடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 79

மின்கல அடுக்கின் உதவியால் மின்னூட்டப்பட, உலோகச் சீப்பு C-யின் மின்னூட்டம் அதன் கூர் முனைகளில் செறிந்திருக்கும். அந்த கூர் முனைகளுடன் தொடர்பு கொள்ள நெருகின்ற காற்றுத் துகள்களும் தூசுத் துகள்களும் நேர் மின்னூட்டப்பட்டு எதிரே உள்ள ரப்பர் பெல்ட்டை நோக்கி விலக்கித் தள்ளப்படுகின்றன.

இதனால் பெல்ட் நேர் மின்னூட்டமடைகிறது. பெல்ட் சுழல, மின்னூட்டமுற்ற பெல்ட்டின் பகுதி D-ஐ அடைகிறது. D-ன் கூர் முனைகளில் மின்தூண்டல் காரணமாக எதிர் மின்னூட்டமும், அதனோடு இணைக்கப்பட்ட உலோக கோளத்தின் வெளிப் பரப்பில் நேர் மின்னூட்டமும் தூண்டப்படுகின்றன. D-ன் கூர் முனைகளில் தூண்டப்பட்ட எதிர் மின்னூட்டம் முனைவினையின் காரணமாக பெல்டின் மீது தெளிக்கப்பட பெல்ட் தன் நேர் மின்னூட்டத்தை இழந்து மேலே சுழன்று செல்கிறது. பெல்ட் தொடர்ந்து சுழலச் சுழல மேற்கூறிய நிகழ்ச்சிகள் தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றன. உலோகக் கோளம் மேலும் மேலும் நேர் மின்னூட்டமுற்று மிக உயர்ந்த மின்னழுத்தம் பெறுகிறது. இம்முறையில் 1000 வோல்ட் மின்னழுத்தமுடைய மின்கல அடுக்கின் உதவியால் 5,000,000 வோல்ட் அளவுடைய மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம். இத்தகைய ஒரு மின்னழுத்தம் அணுக்கரு இயற்பியலில் பயன் படுத்தப்படுகிறது.

மின் தூண்டல் (electric induction)

புல வலிமையைப் போன்றே, மின்புலத்துடன் தொடர்புடைய மற்றொரு இயற்பியல் அளவு **மின் தூண்டல்** (electric induction) என்பதாகும். மின்புலத்தின் புலவலிமை மற்றும் அங்குள்ள ஊடகத்தின் செலுத்துகைத்திறன் (permittivity) இவை இரண்டின் பெருக்குத் தொகைக்கு முழுச் செங்குத்துத் தூண்டல் (Total normal electric induction) N–என்று பெயர். இதனை இடப்பெயர்ச்சி (displacement) என்றும் கூறுவர். எனவே 'D' என்னும் எழுத்தினாலும் குறிப்பிடுவது உண்டு. E என்பது மின்புலவலிமையென்றும் K என்பது செலுத்துகைத்திறன் என்றும் கொண்டால், அலகுப் பரப்பிலுள்ள முழுச் செங்குத்துத் தூண்டல் $D = KE$ ஆகும்.

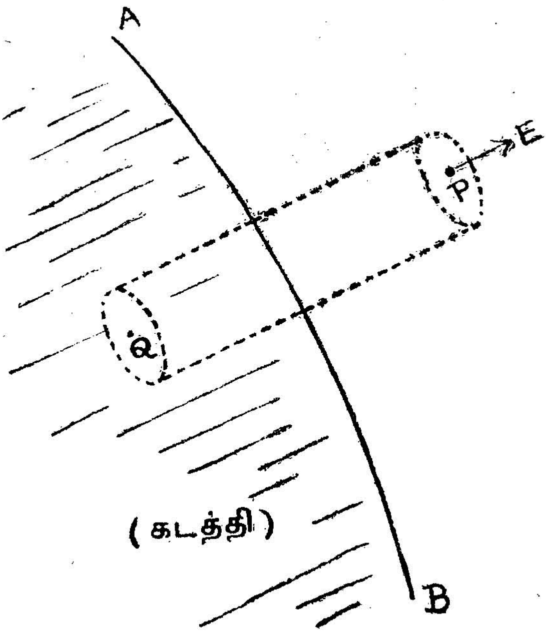
காஸ் தேற்றம் (Gauss Theorem)

Q என்னும் மின்னூட்டத்தைச் சூழ்ந்துள்ள, முடிவுற்ற பரப்பினின்றும் வெளிவரும் முழுச் செங்குத்துத் தூண்டல் Q MKS அலகுகள் ஆகும்.

மின்னூட்டப்பட்ட ஒரு கடத்தியின் அருகே உள்ள புள்ளியில் மின் புலவலிமை காண்பதற்கான கூலம் விதி (Coulomb's law)

படத்தில் காட்டியுள்ளது போன்ற மின்னூட்டப்பட்ட AB என்ற ஒரு பரப்பினை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு சதுர மீட்டருக்கு σ கூலம் என்பது பரப்புச் செறிவு என்போம். P என்பது கடத்தியின்

பரப்பிற்கு அருகிலுள்ள ஒரு புள்ளியாகும். P-ஐ மையமாகக் கொண்டு ds பரப்புடைய ஒரு வட்டப்பரப்பை எடுத்துக் கொண்டு, படத்திற் காட்டியுள்ளபடி அப்பரப்பை ஒரு குறுக்கு முகமாகக் கொண்ட ஒரு உருளையை கற்பனை செய்து கொள்க. கடத்தியின் உள்ளே உள்ள Q என்ற புள்ளியில் கற்பனை உருளையின் மற்றொரு முகம் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். P என்ற புள்ளியில் காணும் புல வலிமை E என்றால் கற்பனை உருளையின் P என்னும் முகத்தின் வழியே வெளிவரும் முழுச் செங்குத்துத் தூண்டல்



படம் 80

$= K{\cdot}E{\cdot}\,ds$ ஆகும். மின்னூட்டப்பட்ட கடத்தியின் உள்ளே உள்ள புள்ளியில் காணப்படும் புலவலிமை சுழியாகையால் கற்பனை உருளையின் Q என்ற முகத்தின் வழியே செல்லும் முழுச் செங்குத்துத்தூண்டல் சுழியாகும். எனவே கற்பனை உருளையிலிருந்து வெளிவரும் முழுச்செங்குத்துத் தூண்டல் (P, Q என்ற இருமுகங்களின் வழியாகவும்) $= KE\,ds + O = KE\,ds$ ஆகும்.

கற்பனை உருளை உள்ளடக்கிய மின்னூட்டத்தின் அளவு $= ds.\,\sigma$ ஆகும். எனவே காஸ் தேற்றத்தின்படி கற்பனை உருளையிலிருந்து வெளிவரும் முழுச் செங்குத்துத் தூண்டல் $= ds\,\sigma$ ஆகும்.

எனவே $KE\, ds = ds\, \sigma$

$$E = \frac{\sigma}{K}$$

$$= \frac{\sigma}{K_0 K_r} \text{ ஆகும்.}$$

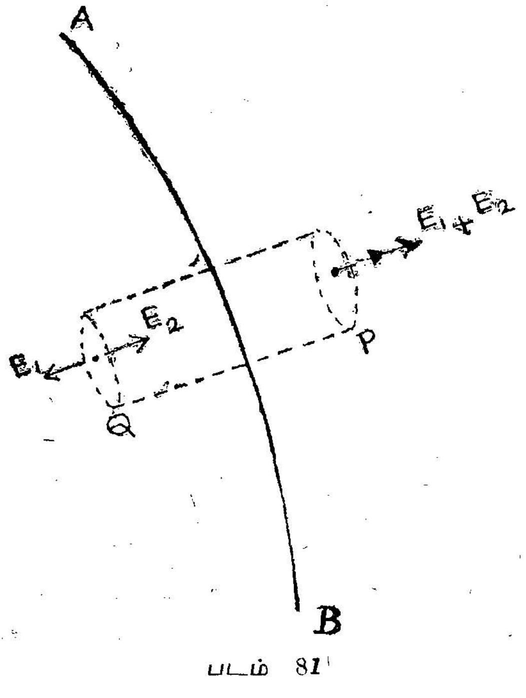
கடத்தியைச் சூழ்ந்துள்ள ஊடகம் காற்று அல்லது வெற்றிடம் என்று கொண்டால் $K_r = 1$ ஆகும் எனவே

$$E = \frac{\sigma}{K_0} \text{ ஆகும்.}$$

நிலை மின்னழுத்தம் (Electrostatic pressure)

மின்னூட்டப்பட்ட ஒரு கடத்தியின், ஓர் அலகுப் பரப்பின் மீது காணப்படும் விசைக்கு நிலை மின்னழுத்தம் என்று பெயர்.

மின்னூட்டப்பட்ட கடத்தியின் பரப்புக்கு அண்மையில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் புல வலிமை $E = \frac{\sigma}{K_r K_0}$ எனக் கண்



படம் 81

டோம். இங்கு σ என்பது பரப்புச் செறிவையும் K_r என்பது ஊடகத்தின் சார்பு செலுத்துகை எண்ணையும் குறிக்கின்றன.

P என்ற புள்ளியில் காணப்படும் புலவலிமையாகிய E என்பது இரு பகுதிகளைக் கொண்டது. 1) ds என்ற பரப்பின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தினால் உண்டாகும் புலவலிமை E_1 மற்றும் 2) ds நீங்கலாக மீதியுள்ள பரப்பின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தினால் உண்டாகின்ற புலவலிமை E_2 என்பன ஆகும்.

$$\text{எனவே } E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{K_r \cdot K_o}$$

இவ்வாறே Q என்ற புள்ளியில் புலவலிமை காணும்போது E_1 என்ற பகுதி உள் நோக்கிச் செயல்படுவதையும் இவை இரண்டும் சேர்ந்து உண்டாகின்ற விளைவுப் புலம் சுழியாவதையும் உணரலாம்.

$$\text{எனவே } E_2 - E_1 = 0$$

$$\text{அல்லது } E_1 = E_2 \quad \therefore \quad E_1 + E_2 = 2E_1 = 2E_2$$

$$\text{ஆகவே } E_1 = E_2 = \frac{\sigma}{2K_r K_o}$$

எனவே ds என்ற சிறு பரப்பின் மீதுள்ள $ds\ \sigma$ என்ற மின்னூட்டம் ds நீங்கலாக மீதிப் பரப்பிலுள்ள மின்னூட்டத்தினால் உண்டாகும் மின்புலத்தில் அமைந்திருப்பதாகக் கருதலாம். எனவே அம்மின்னூட்டப் பரப்பின் மீது ஒரு விசை உண்டாகும்.

$$\text{அவ்விசை} = E_2 \times ds\ \sigma \text{ ஆகும்.}$$

$$= \frac{\sigma}{2\ K_r \cdot K_o}, ds\ \sigma \text{ நியூட்டன்கள் ஆகும்.}$$

எனவே ஒரு சதுர மீட்டரில் செயற்படும் விசை $\frac{\sigma^2}{2\ K_r K_o}$ நியூட்டன்கள்.

$$\text{எனவே நிலை மின்னழுத்தம் } = \frac{\sigma^2}{2\ K_r\ K_o} \text{ நியூ/சதுர மீட்டர்}$$

அதாவது மின்னூட்டப்பட்ட கடத்தியின் ஒவ்வொரு அலகுப் பரப்பின் மீதும் $\frac{\sigma^2}{2\ K_r K_o}$ நியூட்டன் மதிப்புள்ள வெளிநோக்கிச் செயற்படும் இழு விசை (tension) செயற்பட்டுக் கொண்டிருக்கிறது.

மின்தேக்கிகள்

கடத்தியின் மின்தேக்குதிறன் (Electrical Capacity of a Conductor)

காப்பிடப்பட்ட ஒரு கடத்தி, மின்னூட்டத்தைத் தேக்கி வைத்துக் கொள்வதற்கான திறமைக்கு அதன் மின் தேக்குதிறன் என்று பெயர். கடத்திக்கு மின்னூட்டம் தரும்போது அதன் மின்னழுத்தம் உயர்கிறது. ஒரு கடத்திக்குத் தரப்படும் மின்னூட்டம் Q-க்கும் அதன் மின்னழுத்தம் V-க்கும் உள்ள விகிதம் C-க்கு, அக் கடத்தியின் தேக்குதிறன் என்று பெயர்.

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{அல்லது} \quad Q = VC \text{ ஆகும்.}$$

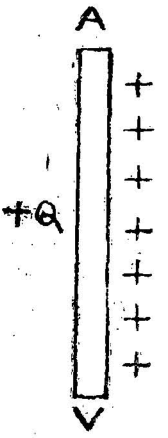
ஃபாரட் (farad) என்பது M. K. S முறையிலமைந்த மின் தேக்குத்திறன் அலகு ஆகும். ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த நிலையில் ஒரு கூலம் மின்னூட்டத்தைத் தேக்கி வைத்துக் கொள்ளக்கூடிய கடத்தியின் தேக்குதிறன் ஒரு ஃபாரட் ஆகும். ஃபாரட் என்பது நடைமுறை காரியங்களுக்கு ஒவ்வாத மிகப் பெரிய அலகாகும். எனவே மைக்ரோ ஃபாரட் (μF) பிக்கா ஃபாரட் அல்லது மைக்ரோ மைக்ரோ ஃபாரட் ($P\mu$ அல்லது $\mu\mu F$) என்ற இரு அலகுகள் பயன்படுகின்றன.

ஒரு ஃபாரட் $= 10^6$ மைக்ரோ ஃபாரட்

ஒரு ஃபாரட் $= 10^{12}$ பிக்கா ஃபாரட்

மின்தேக்கி அல்லது கன்டென்சர்

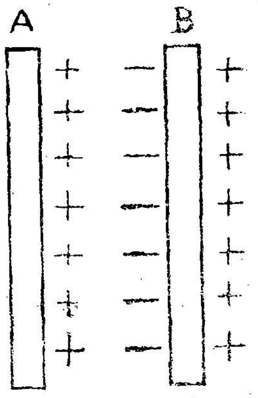
ஒரு கடத்தியின் மின்தேக்குதிறனை அதிகரிப்பதற்கான அமைப்பிற்கு மின்தேக்கி அல்லது கன்டென்சர் என்று பெயர்.



A என்பது ஒரு கடத்தி அதற்கு Q கூலம் நேர் மின்னூட்டம் தரப்பட்டுள்ளது. இதனை இதனுடைய மின்னழுத்தம் V வோல்ட்டுக்கு உயர்வதாக வைத்துக் கொள்வோம். இதனுடைய மின்தேக்கு திறன் $C = \frac{Q}{V}$ ஆகும்.

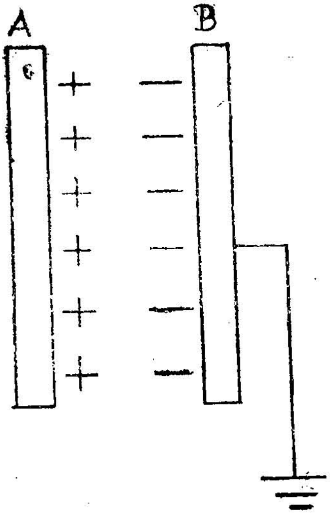
படம் 82 (a)

A என்ற கடத்திக்கு பக்கத்தில் அதைப் போலவே உள்ள B என்ற மற்றொரு கடத்தியை வைப்போம். A-க்கும் B-க்கும் இடையே ஒரு மின் கடத்தா ஊடகம் உள்ளது. மின் தூண்டல் காரணமாக B-ன் உட்பக்கத்தில் எதிர் மின்னூட்டமும் வெளிப் பக்கத்தில் நேர் மின்னூட்டமும் தூண்டப்படுகிறது.



படம் 82 (b)

எதிர் மின்னூட்டமுற்ற B-ன் உட்பக்கம், நேர் மின்னூட்டமுற்ற B-ன் வெளிப்பக்கத்தைவிட A-க்கு அருகில் இருப்பதால் A-ன் மின்னழுத்தம் குறைகிறது. எனவே A-ஐ மீண்டும் V வோல்ட் மின்னழுத்த நிலைக்கு உயர்த்த இன்னும் கொஞ்சம் மின்னூட்டம் கொடுக்கலாம். இப்போது A-ல் உள்ள மின்னூட்டம் Q_1 என்றும் மின்தேக்குதிறன் C_1 என்றும் கொண்டால் $C_1 = \frac{Q_1}{V}$ ஆகும். Q_1 என்பது Q-வைவிட அதிகம் அல்லவா எனவே $C_1 > C$. அதாவது B என்ற கடத்தியை A-க்கு அருகில் வைத்ததினால் A-ன் தேக்கு திறன் அதிகரித்துள்ளது.



படம் 82 (c)

B என்ற கடத்தியின் வெளிப்புறத்தை தரையிடுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது மின் தூண்டல் காரணமாக B-ன் வெளிப்பக்கத்தில் தோன்றிய நேர் மின்னூட்டம் தரைக்குச் சென்றுவிடும். ஆனால் B ன் உட்பக்கத்தில் தோன்றிய எதிர் மின்னூட்டம் A-ன் நேர் மின்னூட்டத்தால் கவர்ந்திழுக்கப்படுவதால் தரைக்கு ஓடி விடுவதில்லை. இந்நிலையில் A-ன் மின்னழுத்தம் மிக மிகக் குறைந்து விடுகிறது. எனவே மிக மிக அதிகமான Q_2 கூலம் மின்னூட்டம் தரும் போது தான் அதன் மின்னழுத்தம் மீண்டும் V வோல்ட் ஆகும். இப்போது இவ்வமைப்பின் மின் தேக்குதிறன் C_2 என்றால்

$$C_2 = \frac{Q_2}{V}$$

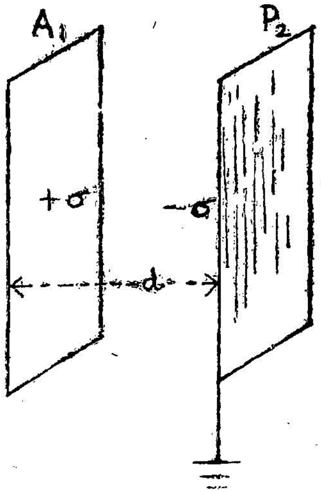
$$Q_2 > Q_1 > Q \qquad \text{எனவே } C_2 > C_1 > C$$

இவ்வாறு A-க்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட B என்ற தரையிடப்பட்ட மற்றொரு கடத்தி இவ்வமைப்பின் மின் தேக்குத்திறனை உயர்த்துகிறது. இத்தகைய A, B என்னும் கடத்திகளைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பிற்குத்தான் மின்தேக்கி அல்லது கன்டென்சர் என்று பெயர்.

இணைத்தகடு மின்தேக்கி

இணைத்தகடு மின்தேக்கியில் P_1 மற்றும் P_2 என்ற இரு சமதள உலோகத் தகடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரம் d என்றும் தகடுகள் ஒவ்வொன்றின் பரப்பும் A என்றும் கொள்வோம். தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள பகுதி K என்ற சார்பற்ற செலுத்துகைத் திறன் கொண்ட ஊடகத்தால் நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. P_2 என்ற தகடு தரையிடப்பட்டுள்ளது. P_1 என்ற தகட்டிற்கு Q கூலம் மின்னூட்டம் தரப்படுகிறது. P_1 தகட்டின் மீது காணப்படும்

பரப்புச் செறிவு $\sigma = \frac{Q}{A}$ கூலம்/சதுர மீட்டர் ஆகும். $\therefore Q = A\sigma$ ஆகும். P_2 ன் உட்பக்கத்தில் தூண்டப்படும் பரப்புச் செறிவு $= -\sigma$ ஆகும்.



படம் 83

P_1 மற்றும் P_2 என்ற தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் P_1 ன் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தினால் உண்டாகும் மின்புல வலிமை $= \frac{\sigma}{2K}$ ஆகும். இது P_1P_2 என்ற திசையிலிருக்கும். P_2 என்ற தகட்டிலுள்ள $-\sigma$ என்ற பரப்புச் செறிவினால் மேற் கூறிய புள்ளியில் உண்டாகும் புலவலிமையும் $\frac{\sigma}{2K}$ ஆகும். இதுவும் P_1P_2 என்ற திசையிலேயே இருக்கும். எனவே அப்புள்ளியில் காணப்படும் விளைவுப்புல வலிமை $= \frac{\sigma}{2K} + \frac{\sigma}{2K} = \frac{\sigma}{K}$ ஆகும். இது அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் 1 கூலம் மின்னூட்டத்தின் மீது தரப்படும் விசையின் அளவை நியூட்டன்களில் குறிக்கிறது. இரு தகடுகளுக்கும் இடையிலுள்ள மின்புலத்தைச் சீரான மின் புலம் எனக் கொள்வோம். ஓர் அலகு மின்னூட்டத்தை P_2 என்ற தகட்டிலிருந்து P_1 என்ற தகட்டிற்குக் கொண்டு செல்லச் செல விடப்படும் வேலையின் அளவு $= \frac{\sigma}{K} \times d$ ஜூல்கள் ஆகும். இவ்வாறு செய்யப்படும் வேலையின் அளவு அவ்விருத் தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும்.

$$V = \frac{\sigma d}{K}$$

$$\text{மின் தேக்குதிறன்} = \frac{\text{மின்னூட்டம்}}{\text{மின்னழுத்த வேறுபாடு}}$$

$$C = \frac{\sigma . A}{\frac{\sigma d}{K}} = \frac{KA}{d} \text{ ஃபாரட்}$$

$$C = \frac{K_0 K_r A}{d} \text{ ஃபாரட்}$$

குறிப்பு : 1. இரு தகடுகளுக்குமிடையே உள்ள ஊடகம் காற்றானல் $K_r = 1$ ஆகும். எனவே $C = \frac{K_0 A}{d}$ ஃபாரட் ஆகும். $K_0 = 8 \cdot 854 \times 10^{-12}$ ஃபாரட் / மீட்டர். A-ன் மதிப்பினை சதுர மீட்டர்களிலும், d ன் மதிப்பினை மீட்டர்களிலும் அளவிட வேண்டும்.

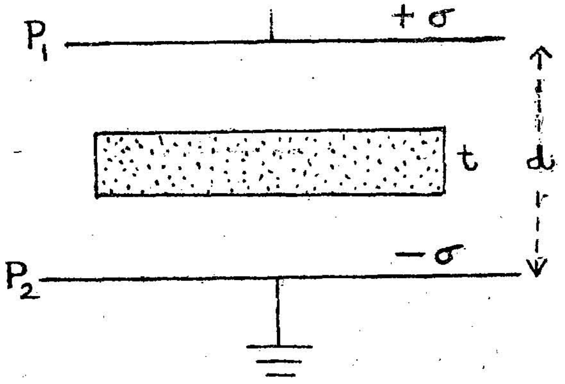
குறிப்பு : 2. இணைத்தகடு மின்தேக்கியின் தேக்குதிறனுக்கான வாய்ப்பாட்டிலிருந்து ஊடகத்தின் செலுத்துகைத்திறன் அதிகரிக்க அதிகரிக்க கன்டென்சரின் தேக்குதிறன் அதிகரிக்கும் என்பதை அறியலாம்.

குறிப்பு : 3. ஓர் ஊடகத்தின் சார்பு செலுத்துகை திறனைக் காண, ஓர் இணைத்தகடு மின்தேக்கியின் இடைப்பகுதி அவ்வூடகத்தால் நிரப்பப்படும் போது அதற்குள்ள மின்தேக்கு திறனுக்கும் அதே மின்தேக்கியின் இடைப்பகுதி காற்றினல் நிரப்பப்படும் போது அதற்குள்ள மின்தேக்கு திறனுக்கும் உள்ள விகிதத்தை கண்டறியவேண்டும். அவ்விகிதம் அவ்வூடகத்தின் சார்பு செலுத்துகைத் திறனைத் தரும்.

கலப்பு ஊடக இடைவெளி கொண்ட இணைத்தகடு மின்தேக்கி

P_1 மற்றும் P_2 என்பன ஒரே அளவுடைய இணையான இரு உலோகத்தகடுகள். அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரம் d மீட்டர்கள். தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள காற்றுப் பகுதியில் t என்னும் தடிப்புள்ள மின்கடத்தா ஊடகம் ஒன்றுள்ளது. அதன் சார்பற்ற செலுத்துகைத்திறன் K ஆகும். P_1ன் மீது உள்ள மின்னூட்டத்தின் பரப்புச் செறிவு $+\sigma$ கூலம்/சதுர மீட்டர்.

$(d-t)$ தடிப்புள்ள காற்று இடைவெளியிலுள்ள எந்த ஒரு புள்ளியிலும் காணப்படும் புலவலிமை E_a என்றும் t தடிப்புள்ள



படம் 84

மின்கடத்தா ஊடகத்தின் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள புல வலிமை E_s என்றும் கொள்வோம்.

$$E_a = \frac{\sigma}{K_o} \text{ என்றும் } E_s = \frac{\sigma}{K} \text{ என்றும் அறிவோம்.}$$

P_2 என்ற தரையிடப்பட்ட தகட்டிலிருந்து P_1 என்னும் தகட்டிற்கு ஒரு கூலம் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்ல செலவிடப் படும் வேலையின் அளவு

$$= E_a (d-t) + E_s \cdot t \quad \text{ஜூல்கள்}$$

$$= \frac{\sigma}{K_0} (d-t) + \frac{\sigma}{K} \cdot t \quad ,,$$

$$= \frac{\sigma}{K_0} (d-t) + \frac{\sigma}{K_0 \, K_r} t \quad ,,$$

$$= \frac{\sigma}{K_0} \left[d - t + \frac{t}{K_r} \right]$$

இது P_1 மற்றும் P_2 என்னும் தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை வோல்ட்டுகளில் கொடுக்கும் என அறிவோம்.

$$\therefore \; V = \frac{\sigma}{K_0} \left[d - t + \frac{t}{K_r} \right]$$

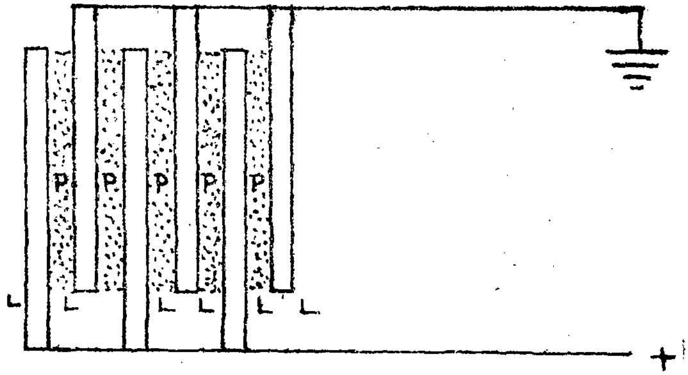
$$\text{மின்தேக்குதிறன்} = \frac{\text{மின்னூட்டம்}}{\text{மின்னழுத்த வேற்றுமை}}$$

$$C = \frac{A\sigma}{\frac{\sigma}{K_0}\left[d - t + \frac{t}{Kr}\right]}$$

$$= \frac{K_0 A}{\left[d - t + \frac{t}{K}\right]} \text{ ஃபாரட்}$$

பல வகையான இணைத்தகடு மின்தேக்கிகள்

(1) ஒரே அளவுடைய பல வெள்ளீயத்தகடுகளையும், பாரஃபின் தகடுகளையும் எடுத்துக் கொண்டு அவற்றை ஒன்றின்மீது ஒன்றாக, இரு வெள்ளீயத்தகடுகளுக்கு இடையே ஒரு பாரஃபின் தகடு வரும்படியாக அடுக்கவேண்டும். இந்த அடுக்கு குலையாமல் அழுத்தி கெட்டியாக்கிய பின் ஒற்றைப்படை இலக்கமுள்ள வெள்ளீயத் தகடுகளை ஒன்றாக இணைத்து ஒரு மின் வாயாகவும், இரட்டைப் படை இலக்கமுள்ள வெள்ளீயத்தகடுகளை ஒன்றாக இணைத்து

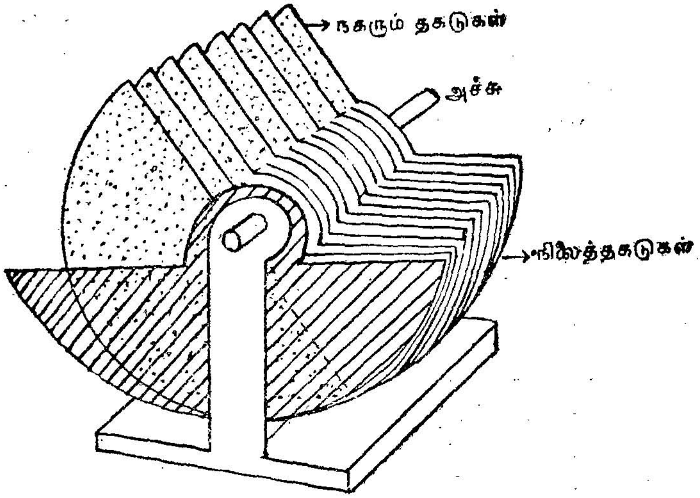


ட : வெள்ளீயத் தகடு P : பாரஃபின் தகடு

படம் 85

இன்னொரு மின் வாயாகவும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இங்கு காட்டப்பட்டிருக்கும் அமைப்பில் பக்க அடுக்கில் இணைக்கப் பட்டிருக்கும் ஐந்து இணைத்தகடு மின்தேக்கிகள் இருப்பதை அறியலாம். எனவே இந்த அமைப்பின் மின்தேக்குத்திறன் $5\frac{KA}{d}$ ஆகும் ($\because$ $C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots$)

(2) மாறு மின்தேக்கி (Variable condenser)



படம் 86

இவ்வமைப்பில் ஒரே வடிவமுடைய பல உலோகத்தகடுகள் ஒன்றின் பக்கத்தில் ஒன்றாக ஒன்றை ஒன்று தொடாதபடி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒற்றைப்படை இலக்கமுடைய தகடுகள் ஒரு தண்டால் இணைக்கப்பட்டு நிலையாக உள்ளன. இரட்டைப் படை இலக்கமுடைய தகடுகள் ஓர் அச்சில் பொருத்தப்பட்டு அச்சின் முனையைச் சுழற்றும்போது மேசர்ந்தாற்போல நிலைத்தகடுகளுக்கு இடையே நுழையவோ அல்லது வெளிவரக்கூடியதாகவோ அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள இடம் காற்றால் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். நகரும் தகடுகளை இறகுகள் என்று கூறுவர். நிலைத்தகடுகள் ஒரு மின் வாயாகவும், இயங்கும் தகடுகள் மற்றொரு மின் வாயாகவும் செயற்படுகின்றன. நிலைத் தகட்டிற்கும் இயங்கு தகட்டிற்கும் இடையே உள்ள பொதுவான பரப்பினைப் (*A*) பொறுத்தே மின்தேக்கியின் தேக்குதிறன் உள்ளது. ஆகவே பொதுப் பரப்பை அதிகரித்தால் தேக்குதிறன் அதிகமாகும். பொதுப்பரப்பைக் குறைத்தால் தேக்குதிறன் குறையும். இதுவும் பக்க அடுக்கு இணைப்பில் அமைந்த இணைத் தகடு மின் தேக்கிகளை ஆகும். இவ்வமைப்பில் உள்ள மொத்த தகடுகளின் எண்ணிக்கை n என்றும் ஒரு ஜோடி நிலை-இயங்கு தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள பொதுப்பரப்பு A என்றும் கொண்டால் அப்போது தேக்குதிறன் $= \frac{K_0 A}{d}(n-1)$ ஃபாரட் ஆகும்.

பக்க இணைப்பு (அடுக்கு) மின்தேக்கிகள்

பல லெய்டன் ஜாடிகளைப் போன்ற மின்தேக்கிகளின் உட்பூச்சுகளை ஒரு கம்பியால் ஒன்றாகவும், அதைப்போல வெளிப் பூச்சுகளையும் மற்றொரு கம்பியால் ஒன்றாகவும் இணைக்கும்போது மின்தேக்கிகள் பக்க அடுக்கு முறையில் இணைக்கப்படுகின்றன. மின்தேக்கிகளுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட Q மின்னூட்டம் அவைகளின் மின்னழுத்தத்தை V-க்கு உயர்த்தினால் $Q = VC$. C-என்பது இவ்வமைப்பின் மொத்த தேக்குதிறனைக் குறிக்கும். ஒவ்வொரு மின்தேக்கியின் மின்னூட்டங்களும் Q_1, Q_2, Q_3 ஆகவும் இருக்கட்டும். மின்தேக்கிகள் அனைத்தும் ஒரே மின்னழுத்தத்தைப் பெறுவதால்,

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

ஆனால் $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

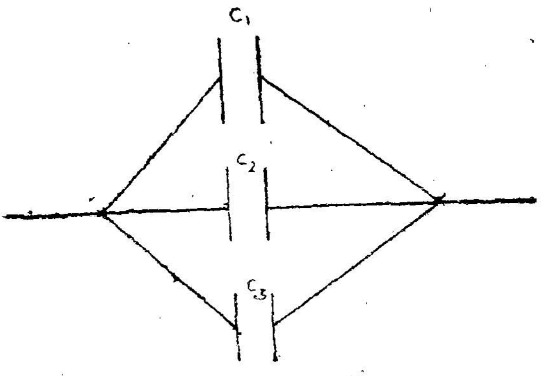
$$\therefore VC = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

பக்க அடுக்கு மின்தேக்கிகளின் பயனுள்ள மின்தேக்கு திறன் ஒவ்வொரு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குதிறனின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

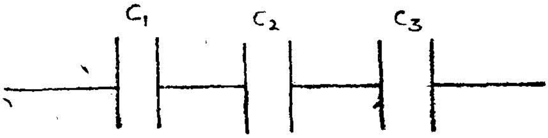
தொடர் இணைப்பு மின்தேக்கிகள்

மின் தேக்குதிறன் C_1, C_2, C_3 உள்ள மூன்று மின்தேக்கிகளை முதல் தேக்கியின் வெளிப் பூச்சை இரண்டாவதின் உட்பூச்சோடும், இரண்டாவதின் வெளிப் பூச்சை மூன்றாவதின் உட்



படம் 86 (a)

பூச்சோடும் தொடரடுக்கு முறையில் இணைக்கவேண்டும். அவ்வமைப்பில் Q மின்னூட்ட, அது முதல் தேக்கியின் உட்பூச்சுக்கும் தூண்டல் முறையில் அதே மின்னூட்டம் மற்ற மின் தேக்கிகளின்



படம் 86 (b)

உட்பூச்சுகளுக்கும் செல்கின்றன. வரிசையாக மின்தேக்கிகளின் மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் V_1, V_2, V_3 -யாக இருக்கட்டும்.

$$V_1 + V_2 + V_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

மின் தேக்கிகளின் மொத்த மின் தேக்குதிறன் C-யானல் முதல் கடைசி மின்தேக்கிகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V-யானல்,

$$V = \frac{Q}{C}$$

ஆனல் $V = V_1 + V_2 + V_3$

$$\therefore \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\therefore \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

மின்னோட்டவியல்
(CURRENT ELECTRICITY)

மின்னோட்டவியல்
(Current Electricity)
1. முன்னுரை

மின்னூட்டம் ஒரு கடத்தியின் வழியே ஓடும்போது மின்னோட்டம் (current) உண்டாகிறது. கடத்தியின் எந்த ஒரு குறுக்குப் பரப்பின் வழியாகவும், ஓர் அலகு நேரத்தில் கடந்து செல்லும் மின்னூட்டத்தின் அளவிற்கு, மின்னோட்டத்தின் வலிமை (strength of current) என்று பெயர். எனவே கடத்தியின் ஏதோ ஒரு குறுக்குப் பரப்பின் வழியே பாய்ந்து சென்ற மின்னூட்டத்தின் அளவு Q என்றால் அது அக்கட்டத்தில் பாயும் மின்னோட்டம் I மற்றும் அக் கடத்தியின் வழியே மின்னோட்டம் பாயும் காலம் t (விநாடிகளில்) ஆகிய இரண்டின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

∴ $Q = It$ ஆகும்.

மின்னோட்டத்திற்கான மீ.கி.வி. (M.K.S.) அலகு ஆம்பியர் (Ampere) ஆகும். இதற்கான வரையறை பிறிதோர் இடத்தில் தரப்பட்டிருக்கிறது. மின்னூட்டம் அல்லது மின்சாரத்தினை அளவிட கூலம் (Coulomb) என்ற அலகு பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டம் ஓர் ஆம்பியர் என்றால், ஒரு விநாடி காலத்தில் அக்கடத்தி வழியாகச் சென்ற மின்னூட்டம் அல்லது மின்சாரத்தின் அளவு ஒரு கூலம் ஆகும். I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் t விநாடிகள் பாயும்போது எடுத்துச் செல்லப்பட்ட மின்னூட்டம் It கூலம்கள் ஆகும்.

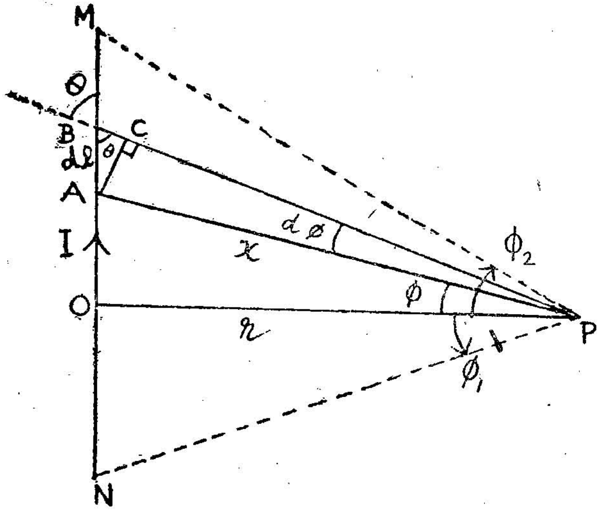
ஒரு கடத்தியில் A என்ற ஒரு புள்ளியிலிருந்து B என்ற மற்றொரு புள்ளிக்கு மின்னோட்டம் செல்ல வேண்டுமென்றால் A என்ற புள்ளி B என்ற புள்ளியை விட உயர்ந்த மின்னழுத்த நிலையில் (Potential) இருக்கவேண்டும். தண்ணீர் மேட்டிலிருந்து பள்ளத்திற்குப் பாய்வதைப்போல, மின்னோட்டம் உயர்ந்த மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள புள்ளியிலிருந்து குறைந்த மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள புள்ளிக்குப்பாயும். எனவே ஒரு கடத்தியின் வழியே மின்னோட்டம்

பாய்வதற்கு அக்கடத்தியின் இரு முனைகளுக்குமிடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு (Potential difference) தேவைப்படுகிறது. மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை அளவிடுவதற்கான அலகு வோல்ட் (Volt) என்பதாகும்.

ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாயும் ஒரு கடத்தியின் இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே மறைந்தொழியும் மின்னாற்றலின் (electrical energy) ஒரு வாட் (watt) என்றால் அவ்விரு புள்ளிகளுக்கு மிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு வோல்ட் ஆகும்.

மின்னோட்டமுள்ள நேரான கடத்தியைச் சூழ்ந்துள்ள காந்தப்புலம் (Magnetic field due to straight conductor carrying current)

மின்னோட்டத்தைச் சுமந்துள்ள ஒரு கடத்தியைச் சுற்றி காந்தப்புலம் உண்டாகும். (இதுபற்றிய விரிவான விளக்கத்திற்கு மின்னோட்டமும் காந்தப்புலமும் என்ற தலைப்பைப் பார்க்கவும்)



படம் 87

MN என்பது *I* ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தைச் சுமக்கின்ற ஒரு நேர்க்கடத்தி, *AB* என்பது அதில் ஒரு மிகச்சிறிய பகுதி அதன் நீளம் *dl* என்போம். கடத்தியிலிருந்து *r* மீட்டர் தூரத்திலமைந்த *P* என்ற புள்ளியில் காந்தப்புலம் காணவேண்டும் என்று கொள்வோம். *PO* என்பது *MN*–க்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடாகும். $\angle OPA = \varnothing$, $\angle APB = d\varnothing$, $\angle OPN = \varnothing_1$ மற்றும் $\angle OPM = \varnothing_2$ ஆகும். *PB* என்ற கோடு மின்னோட்டத்தின் திசையுடன் உண்

டாக்கும் கோணம் θ என்க. AC என்பது A யிலிருந்து PB-க்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடாகும்.

* லாப்லாஸ் விதியின்படி மின்னோட்டத்தைச் சுமக்கும் AB என்ற சிறுபகுதி x தூரத்தில் அமைந்துள்ள P என்ற புள்ளியில் தருகின்ற காந்தப்புலத்தின் செறிவு

$$dF = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\, dl \operatorname{Sin} \theta}{x^2} \text{ ஆகும்.}$$

படத்தில் $\frac{AC}{AB} = \operatorname{Sin} \theta$

$$\therefore \quad AC = AB \operatorname{Sin} \theta. \quad \text{ஆனால் } AB = dl$$

$$= dl \operatorname{Sin} \theta \text{ ஆகும்.}$$

எனவே

$$dF = \frac{1}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{AC}{x^2} \quad \text{ஆனால் } AC = x\, d\varnothing$$

$$= \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot x\, d\varnothing}{x^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{d\varnothing}{x} \quad \text{ஆனால் } \frac{r}{x} = \operatorname{Cos} \varnothing$$

$$\therefore \quad x = \frac{r}{\operatorname{Cos} \varnothing}$$

எனவே $dF = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \operatorname{Cos} \varnothing \cdot d\varnothing}{r}$

நேர்க் கடத்தியின் முழு நீளத்திலும், P என்ற புள்ளியில் உண்டாகும் காந்தப் புலத்தை அறிவதற்கு இச்சமன்பாட்டை $\varnothing = -\varnothing_1$ மற்றும் $\varnothing = \varnothing_2$ என்ற எல்லைகளுக்கு இடையே தொகுக்க வேண்டும்.

$$\therefore \quad F = \int_{-\varnothing_1}^{\varnothing_2} dF$$

$$= \int_{-\varnothing_1}^{\varnothing_2} \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I}{r} \cdot \operatorname{Cos} \varnothing \cdot d\varnothing$$

*மின்னோட்டமும் காந்த விளைவுகளும் என்னும் தலைப்பில் பார்க்க.

$$= \frac{I}{4\pi r}\int_{-\varnothing_1}^{\varnothing_2} \cos\varnothing \, . \, d\varnothing$$

$$= \frac{I}{4\pi r}\Big[\sin\varnothing\Big]_{-\varnothing_1}^{\varnothing_2}$$

$$= \frac{I}{4\pi r}\Big[\sin\varnothing_2 - (-\sin\varnothing_1)\Big]$$

$$= \frac{I}{4\pi r}\Big[\sin\varnothing_1 + \sin\varnothing_2\Big]$$

கடத்தி மிக மிக நீளமான ஒன்று என்றால் $\varnothing_1 = \frac{\pi}{2}$ மற்றும் $\varnothing_2 = \frac{\pi}{2}$ ஆகும். எனவே வரம்பிலா நீளமுடைய, மின்னோட்டம் சுமக்கும் நேர்க் கடத்தியினால் P என்ற புள்ளியில் உண்டாகும் காந்தப்புலம்

$$F = \frac{I}{4\pi r}\Big[\sin\frac{\pi}{2} + \sin\frac{\pi}{2}\Big]$$

$$\frac{I}{4\pi r}\Big[1 + 1\Big]$$

$$= \frac{2I}{4\pi r}$$

$= \frac{I}{2\pi r}$ ஆம்பியர் சுற்று/மீட்டர் ஆகும்.

குறிப்பு : செ.மீ.கி.வி. (C.G.S.) முறையில் காந்தப்புலத்திற்கான அலகு வரையறுக்கப்பட்ட பிறகு அதன் அடிப்படையில் மின்னோட்டத்திற்கான அலகு வரையறுக்கப்பட்டது. ஆனால் மீட்டர் கி.கிராம்$_o$ விநாடி (M.K.S.) முறையில் மின்னோட்டத்திற்கான அலகு முதலில் வரையறுக்கப்பட்டு அதன் அடிப்படையில் காந்தப்புலம் வரையறுக்கப்படுகிறது. காந்தப்புலத்தின் ஒரு புள்ளியில் வைக்கப் படும் ஒரு வெஃபர் வலிமையுடைய வடமுனையின் மீது ஒரு நியூட்டன் விசை உண்டாகுமானால் அப்புள்ளியின் புலவலிமை ஓர் ஆம்பியர் –சுற்று/மீட்டர் ஆகும்.

மின்னோட்டத்தை சுமக்கும் இணையான இரு நீளக் கடத்திகளுக்கு இடையே உண்டாகும் விசை (Force between two long parallel conductors carrying current)

AB மற்றும் CD என்பன மிக மிக நீளமான இரு இணைக் கடத்திகள் அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரம் r மீட்டர்கள். AB-ன் வழியே I_1 என்ற மின்னோட்டமும் CD-ன் வழியே I_2 என்ற மின்னோட்டமும் பாய்கின்றன.

CD என்ற கடத்தி இருக்கும் இடத்தில் AB என்ற கடத்தியில் பாய்கின்ற I_1 என்ற மின்னோட்டத்தினால் உண்டாகும் காந்தப் புலம் செயல்படுகிறது. அதன் வலிமை $= \frac{I_1}{2\pi r}$ ஆம்பியர் சுற்று/மீட்டர் ஆகும் இப்புலம் CD-க்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கும். எனவே CD என்ற கடத்தியிருக்குமிடத்தில் பாய்மச் செறிவு (flux density $B = \mu H$) $\mu_0 \frac{I_1}{2\pi r}$ ஆகும். இங்கு CD என்ற கடத்தி வெற்றிடம் அல்லது காற்றில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டிருப்பதால் அவ்விடத்தின் காந்தக் கடத்துதிறன் μ_0 எனக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது என்றறிக.

CD என்ற கடத்தியின் வழியே I_2 என்ற மின்னோட்டம் பாய்கிறது. அக்கடத்தி $\mu_0 \frac{I_1}{2\pi r}$ என்ற காந்தப் பாய்மச் செறிவுள்ள இடத்தில் இருக்கிறது. எனவே இதன் ஓரலகு நீளத்தின் மீது செயற்படும் விசை $\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \cdot I_2$ நியூட்டன்களாகும்*. இந்த விசை இடது கைப் பெருவிரல் விதியின்படி AB இருக்கும் திசையை நோக்கிச் செயற்படும்.

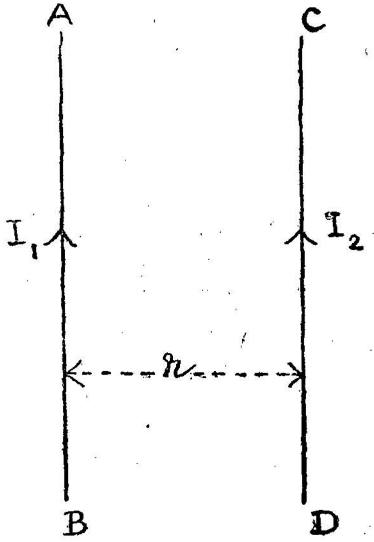
இதே போன்று CD என்ற கடத்தியில் பாயும் I_2 என்ற மின்னோட்டத்தினால் AB என்ற கடத்தியிருக்கும் இடத்தில் உண்டாகும் காந்தப்புலத்தில் I_1 என்ற மின்னோட்டத்தைச் சுமக்கும் AB என்ற கடத்தி இருக்கிறது என்று கொண்டாலும்,

---

*இதற்கான விளக்கம் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் மின்சுமக்கும் கடத்திகளின் மீது தோன்றும் விசை என்ற தலைப்பில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

விசை $= \mu H I l$ இங்கு μ = காந்த கடத்து திறன் H என்பது புலச் செறிவு I என்பது மின்னோட்டம் l என்பது கடத்தியின் நீளம்.

AB என்பது CD-ஐ நோக்கி $\frac{\mu_0 I_2}{2 \pi r} I_1$ நியூட்டன்கள் விசையுடன் நகரும் என அறியலாம்.



படம் 88

இவ்வாறு மின் சுமக்கும் இரு இணைக் கடத்திகளிடையே தோன்றும் விசையின் அளவை அடிப்படையாகக் கொண்டு மின்னோட்டத்திற்கான அலகு (unit) வரையறுக்கப்படுகிறது. அது பின்வருமாறு :

ஆம்பியர் (வரையறை)

அளவற்ற நீளமுடைய, ஒன்றுக்கொன்று ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் அமைந்த இரு இணைக் கடத்திகள் ஒவ்வொன்றின் வழியாகவும் ஒரே திசையில் எந்த ஒரு மின்னோட்டம் பாயும்போது அவைகளுக்கு இடையே, மீட்டருக்கு 2×10^{-7} நியூட்டன் அளவுடைய ஈர்ப்பு விசை தோன்றுமோ அந்த மின்னோட்டத்திற்கு ஓர் ஆம்பியர் என்று பெயர்.

$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2 \pi r}$ என்ற சமன்பாட்டில் $I_1 = I_2 = 1$ என்றும் $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ என்றும் $r = 1$ என்றும் பதிலீடு செய்ய

$$F = \frac{4 \cdot \pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2 \pi \times 1} \text{ நியூட்டன்கள்/மீட்டர்}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \text{ நியூட்டன்கள்/மீட்டர்}$$

கூலம் (Coulomb)

ஒரு கடத்தியின் வழியே ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் ஒரு விநாடி காலம் பாயும் போது கடத்தப்பட்ட மின்னூட்டத்தின் அளவு ஒரு கூலம் ஆகும்.

வோல்ட் (Volt)

மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை அளவிடப் பயன்படும் அலகு வோல்ட் ஆகும். மேட்டிலிருந்து பள்ளத்திற்குத் தண்ணீர் பாயும் போது விசையியல் வேலை நடைபெறுவதைப் போல, உயர்ந்த மின்னழுத்த புள்ளியிலிருந்து குறைந்த மின்னழுத்த புள்ளிக்கு மின்னூட்டம் பாயும்போது மின்னியல் வேலை நடைபெறுகிறது. இவ்வாறு செய்யப்படும் வேலையின் அளவு அவ்விரு புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு (E) மற்றும் பாயும் மின்னூட்டத்தின் அளவு (Q) ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

$$W = E\,Q \text{ ஆகும்.}$$

இச்சமன்பாட்டில் $Q = 1$ என்னும் போது $W = 1$ ஆனால் $E = 1$ ஆகும். W-ஐ ஜூல்களிலும், Q-ஐ கூலம்களிலும் அளவிடுவோமென்றால் E என்பது வோல்ட்டுகளாகும்; இதிலிருந்து

$$E = \frac{W}{Q}, \text{ ஒரு வோல்ட்} = \frac{\text{ஒரு ஜூல்}}{\text{ஒரு கூலம்}}$$

ஒரு கடத்தியின் வழியே ஒரு கூலம் மின்னூட்டம் பாய்வதனால் ஒரு ஜூல் வேலை நடைபெறுமானால், அக்கடத்தியின் இரு முனைகளுக்குமிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு வோல்ட் ஆகும்.

ஓம் (Ohm)

ஒரு கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம், மற்றும் அக்கடத்தியின் இரு முனைகளுக்குமிடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பினை ஆராய்ந்த G. S. ஓம் என்பார் பின்வரும் உண்மையினைக் கூறினார் : மாறு வெப்ப நிலையில் ஒரு கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டமானது, அக்கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும். இது ஓம் விதி (Ohms law) என்றழைக்கப்படுகிறது. கடத்தியின் இரு முனைகளுக்குமிடையே E வோல்ட் மின்னழுத்தம் நிலவும்போது கடத்தியில்

I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்வதாகக் கொள்வோம். ஓம் விதியின்படி $E \alpha I$ அல்லது $\frac{E}{I}$ = மாறிலி ஆகும். இம் மாறிலி R என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இதனை மின் தடை (resistance) என அழைப்பர். எனவே $\frac{E}{I} = R.$ இச்சமன்பாட்டில் $E = 1$ ஆக இருக்கையில் $I = 1$ என்றால் $R = 1$ ஆகும். மின் தடைக்கான அலகு 'ஓம்' ஆகும்.

ஒரு கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கு இடையே ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்தம் நிலவும்போது, அதன் வழியே ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாயுமானால் அக்கடத்தியின் மின் தடை ஓர் ஓம் ஆகும்.

$$\text{ஓர் ஓம்} = \frac{\text{ஒரு வோல்ட்}}{\text{ஓர் ஆம்பியர்}}$$

2. மின்னோட்டமும் - காந்தபுலமும்

மின்னோட்டம் பாயும் ஒரு கடத்தியைச் சுற்றி காந்தப்புலம் உண்டாகும். கூர்முனை ஒன்றின் மீது வைக்கப்பட்ட காந்த ஊசிக்கு மேலே ஒரு நேர்க் கடத்தியை அமைத்து அதன் வழியே மின்னோட்டம் பாய்ச்சும் போது காந்த ஊசி திருப்ப முறுவதைக் காணலாம். காந்த ஊசியின் வடமுனை திரும்பும் திசையை ஆம்பியரின் நீச்சல் விதி (Ampere's swimming rule) யைக் கொண்டு அறியலாம்:

ஆம்பியரின் நீச்சல் விதி : கடத்தியில் மின்னோட்டம் பாய்கின்ற திசையில், தன் இரு கைகளையும் பக்க வாட்டில் நீட்டியவாறும், முகம் காந்த ஊசியைப் பார்த்தவாறும் ஒரு மனிதன் நீந்துவதாகக் கொண்டால் ஊசியின் வடமுனை அம்மனிதனின் இடது கைபக்கம் திரும்பும்.

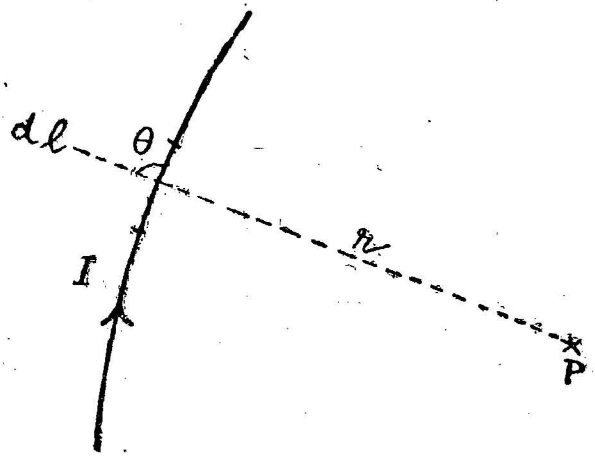
மின்னோட்டம் பாயும் வட்டச்சுருளின் மையத்தில் காணப்படும் காந்தப்புலம்

'r' மீட்டர் ஆரமுடைய ஒரு வட்டச்சுருளின் வழியே I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்வதாகக் கொள்வோம். dl என்பது கடத்தியின் ஒரு சிறு கூறு (element) என்க. அச்சிறு கூறுச் சுருளின் மையமாகிய 'O' ஒன்ற புள்ளியில் தருகின்ற காந்தப் புலத்தின் செறிவினை "லாப்லாஸ் விதி" (Laplace's law) யின் உதவியால் கணக்கிடலாம்.

லாப்லாஸ் விதி :- ஒரு கம்பி வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தினால் P என்ற ஏதோ ஒரு புள்ளியில் உண்டாகும் காந்தப் புலத்தின் செறிவு ;

(a) கடத்தியின் சிறு கூறாகிய dl ன் நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும்.

(b) கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டமாகிய I-க்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும்.



படம் 89

(c) கடத்திக் கூறின் மையத்திற்கும் அப்புள்ளிக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தின் (r) இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் அமையும்.

(d) கடத்திக் கூறின் மையத்தையும், புலம் காணவேண்டிய புள்ளியையும் இணைக்கும் கோட்டிற்கும், மின்னோட்டத்தின் திசைக்கும் இடையே உள்ள கோணம் θன் சைன் (Sine) மதிப்பிற்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும்.

மேற்கூறிய விதிகளின்படி P-ல் காணும் காந்தப்புலம்,

$$dH \propto \frac{I\,dl\,\text{Sin}\,\theta}{r^2}$$

அல்லது $dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl\,\text{Sin}\,\theta}{r^2}$ ஆம்பியர் சுற்று/மீட்டர்.

இங்கு $\frac{1}{4\pi}$ என்பது விகித மாறிலி ஆகும். இவ்வாறு உண்டாகும் புலம் P மற்றும் dl இவை அமைந்த தளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில் அமைந்திருக்கும்.

மேற்கூறிய விளக்கப்படி வட்டச்சுருளின் மையம் (O)ல் காணப்படும் புலத்தின் செறிவினை அறியலாம். கடத்திக் கூறு தரும் புலம் dH என்றால் முழு கடத்தியும் தரும் புலம் $\Sigma\,dH$ ஆகும்

எனவே $H = \Sigma\,dH$

$$= \sum \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl\,\mathrm{Sin}\,\theta}{r^2}$$

கடத்தி வட்டமாக அமையும் போது $\theta = 90°$ ஆகும். எனவே $\mathrm{Sin}\,\theta = 1$ ஆகும். ஆகவே

$$H = \sum \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl}{r^2}$$

$$= \frac{I}{4\pi r^2} \Sigma dl$$

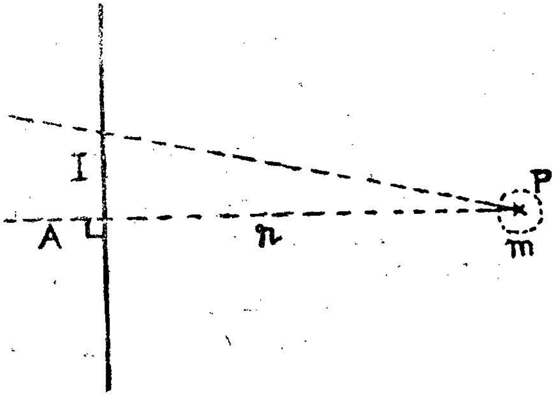
$$= \frac{I}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r \qquad \because \Sigma dl = 2\pi r$$

$$= \frac{I}{2r} \text{ ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர்.}$$

வட்டச் சுருளில் n சுற்றுக்கள் இருக்குமாயின் புலத்தின் செறிவு n மடங்காகும். எனவே $H = \frac{nI}{2r}$ ஆம்பியர்சுற்று / மீட்டர்

காந்தப் புலத்திலமைந்த, மின்னோட்டம் பாயும் கம்பியின் மீது உண்டாகும் விசை

l மீட்டர் நீளமுள்ள நேர்க்கடத்தியின் வழியே I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்வதாகக் கொள்க. லாப்லாஸ் விதியின்படி (இதனை பயட்-சாவர்ட் விதி என்றும் கூறுவர்) அக்கடத்தியின் சிறு கூறு dl, r மீட்டர் தூரத்தில் உள்ள P என்ற புள்ளியில் தரும் காந்தப்புலம் $dH = \frac{1}{4\pi} \frac{I\,dl\,\mathrm{Sin}\,\theta}{r^2}$ என அறிவோம்.



படம் 90

P என்ற புள்ளியில் '*m*' என்ற முனை வலிமை கொண்ட ஒரு காந்தமுனை வைக்கப்பட்டால் அதன்மீது செயற்படும் விசை $dF = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl \sin\theta}{r^2} \times m$ நியூட்டன்களாகும். $\theta = 90^\circ$ என்றால் $\sin\theta = 1$ ஆகும்.

$$dF = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl}{r^2} \cdot m$$ இவ்விசையினால்

m என்ற முனை. படம் அமைந்துள்ள காகிதத்தின் தளத்திற்கும் *AP* என்ற கோட்டிற்கும் செங்குத்தாக நகரும். காந்த முனையை அசையாது அமைத்துவிட்டால் நியூட்டனின் மூன்றாவது விதியின்படி கடத்தியின் மீது மேற்கூறிய விசைக்குச் சமமான ஓர் எதிர்விசை உண்டாகும். எனவே கடத்தியின் மீது $\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I\,dl}{r^2} \times m$ அளவுள்ள விசை செயற்படும். கடத்தி அமைந்துள்ள ஊடகத்தின் காந்த கடத்துதிறன் μ என்போம்.

$$dF = \frac{\mu \cdot I\,dl\,m}{4\pi\mu r^2}$$ என எழுதலாம்.

இங்கு $\frac{m}{4\pi\mu r^2}$ என்பது *m* என்ற காந்தமுனை, அதிலிருந்து r தூரத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் தருகின்ற காந்தப் புலத்தைக் குறிக்கும். இதனை H என்று குறித்தால்

$dF = \mu H I\,dl$ நியூட்டன்கள் $\mu H = B$ ஆகும்.

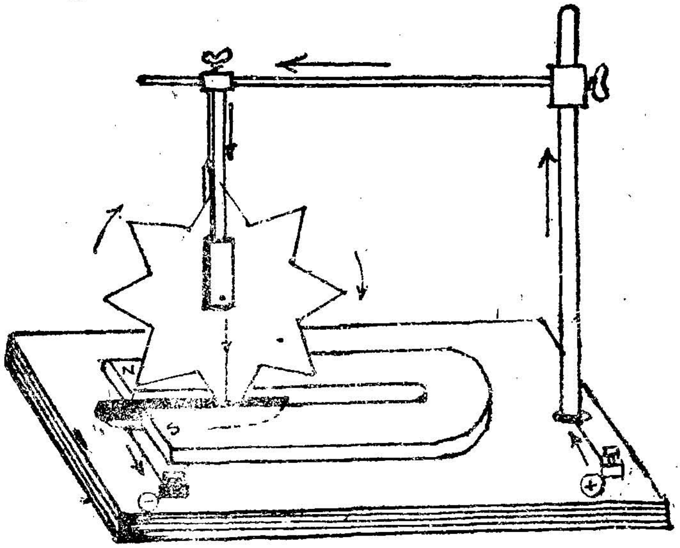
$= B I\,dl$ நியூட்டன்கள். *B* என்பது பாய்மச் செறிவு (flux density) ஆகும்.

கம்பியின் முழு நீளத்திலும் உண்டாகும் விசையை கணக்கிட்டால்

$F = \mu H I l$ நியூட்டன்களாகும்.

எனவே μ என்ற காந்த கடத்து திறனுள்ள ஊடகத்தில் அமைந்த H செறிவுடைய காந்தப் புலத்தில், புலத்தின் போக்கிற்கு செங்குத்தான திசையில் *I* மின்னோட்டம் பாயுமாறு வைக்கப்பட்ட *l* நீளமுடைய கம்பியின் மீது உண்டாகும் விசையின் அளவு $= \mu H I l$ நியூட்டன்களாகும் என அறியலாம். இவ்விசை காந்தப்புலம் மற்றும் மின்னோட்ட திசை இவை இரண்டிற்கும் செங்குத்தாக அமைந்த ஒரு திசையில் செயற்படும். கடத்தி நகரும் திசையை "ஃபிளமிங் இடது கை பெருவிரல் விதி" (Fleming's left hand thumb rule)யால் குறிக்கலாம்.

இடது கையின் பெருவிரல், ஆட்காட்டி விரல் மற்றும் நடுவிரல் இவற்றை ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்த திசைகளில் நீட்டி வைத்துக் கொள்க. இந்நிலையில் நடுவிரல் மின்னோட்டத்தின் திசையையும், ஆட்காட்டி விரல் காந்தப்புலத்தின் திசையையும் குறிக்குமானல் பெருவிரல் கடத்தி நகரும் திசையைக் குறிக்கும்.

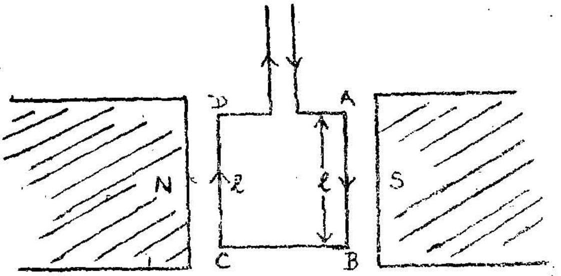


படம் 91

பார்லோ சக்கரம் (Barlow's Wheel) என்னும் கருவியின் உதவியால் ஃபிளமிங் இடது கை பெருவிரல் விதியை எளிதில் செயல் விளக்கம் செய்யலாம். இக்கருவியில் கிடைமட்டத்தில் அமைந்த உலோக அச்சு ஒன்றில் எளிதில் சுழலுமாறு பொருத்தப் பட்ட செப்புத்தகட்டினுல் செய்யப்பட்ட பற்சக்கரம் ஒன்றுள்ளது. இந்த சக்கரம் படத்தில் காட்டியவாறு நிலை காந்தம் ஒன்றின் வட தென் முனைகளுக்கிடையே வைக்கப் பட்டுள்ளது. சக்கரத்தின் கீழ் விளிம்புப் பல் ஒரு மரக் கிண்ணத் திலுள்ள பாதரசத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். மின்கலம் ஒன்றின் நேர் மின்முனை சக்கரத்தின் அச்சினைத் தாங்குகின்ற உலோகத் தாங்கியுடனும், எதிர் முனை மரக் கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்துடனும் இணைக்கப்பட்டால், படத்தில் காட்டியவாறு மின்னோட்டம் சக்கரத்தின் மையத்திலிருந்து கீழ் நோக்கி பாயும்; காந்தப்புலம N என்ற வட முனையிலிருந்து தென் முனைக்குச் செல்லும். இடதுகை பெருவிரல் விதியின்படி சக்கரம் வலஞ்சுழியாக சுழலுவதைக் காணலாம்.

இயங்கு சுருள் கால்வனா மீட்டர் (Moving Coil Galvanometer) தொங்கும் அமைப்பு

ABCD என்பது செவ்வக வடிவில் அமைந்த ஒரு கம்பிச் சுருள். இது குவார்ட்ஸ் அல்லது பாஸ்ஃபர் பிரான்ஸ் போன்ற முறுக்கு இழைக் கம்பியால் *N* மற்றும் *S* என்ற காந்த முனைகளுக்கிடையே



படம் 92 (a)

நிலவும் காந்தப் புலத்தில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. இப்புலம் கம்பிச் சுருளின் தளத்திற்கு இணையாக ஆனால் சுருளின் *AB* மற்றும் *CD* என்ற பக்கங்களுக்குச் செங்குத்தாகவும் செயற்படுகிறது. சீரான அப்புலத்தின் செறிவு *H* என்போம். *I* என்னும் மின்னோட்டம் கம்பிச் சுருளில் *ABCD* என்ற திசையில் பாய்வதாகக் கொள்வோம். காந்தப்புலத்திலமைந்த கம்பி வழியே மின்னோட்டம் பாய்வதால் அவற்றில் விசை உண்டாகிறது. இடது கை பெருவிரல் விதியின்படி *AB* என்ற புயத்தின் மீது $\mu_0 H I l$ என்னும் அளவுள்ள விசை செயற்பட்டு அதை படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்த திசையில் வெளியே தள்ள, அதே சமயத்தில் *CD* என்ற புயத்தின் மீதும் $\mu_0 H I l$ என்னும் விசை செயற்பட்டு அதனை படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்த திசையில் உள்ளே தள்ளும் என அறியலாம். [*BC* மற்றும் *DA* என்னும் பக்கங்களில் மின்னோட்டம் காந்தப்புலத்தின் திசையிலேயே அமைந்துள்ளதால் அவற்றின் மீது விசை ஏற்படுவதில்லை என அறிக] இவ்வாறு சுருளின் செங்குத்துப் புயங்களில் இரு சமமான விசைகள் எதிரெதிர் திசைகளில் செயற்பட்டு விசையிரட்டை ஒன்றைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அவ்விசையிரட்டையின் திருப்புத் திறன் $\mu_0 H I l \times b$ ஆகும். இங்கு *b* என்பது சுருளின் அகலமாகும். அதாவது $BC = DA = b$ ஆகும். மேற்கூறிய திருப்புத் திறனால் சுருள் சுழற்றப்படுகிறது. தொங்கு இழையின் முறுக்கு இச்சுழற்சியை எதிர்க்கிறது. எனவே சுருள் θ என்னும் கோணம் சுழற்றப்பட்ட பின்பு சமநிலை அடைகிறது. இந்நிலையில் சுழற்று

விசையிரட்டையின் திருப்புத் திறனும், முறுக்கு இழை தருகின்ற மீட்பு விசையிரட்டையின் திருப்புத் திறனும் (restoring couple) சமமாகும், ஓர் அலகு முறுக்கம் தருவதற்குத் தேவையான மீட்பு இரட்டை 'C' என்றால் θ முறுக்கம் தருவதற்குத் தேவையான மீட்பு இரட்டை $C\theta$ ஆகும்.

சம நிலையில்

$$\mu_0 H I l \,.\, b = C\theta$$

$$\mu_0 H I \,.\, A = C\theta$$

$$I = \frac{C}{\mu_0 H A} \,.\, \theta$$

கம்பிச் சுருளில் n சுற்றுக்கள் இருப்பின்

$$\mu_0 H I A n = C\theta \text{ ஆகும்.}$$

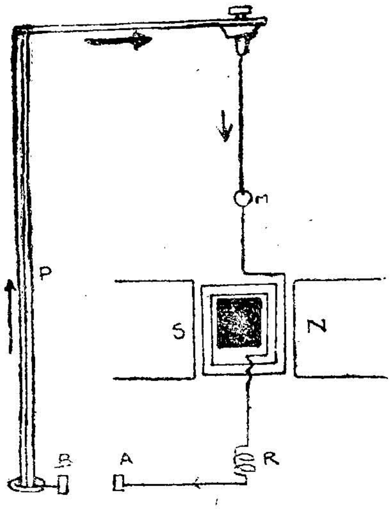
$$\text{எனவே } I = \frac{C}{\mu_0 H A n} \,.\, \theta$$

குறிப்பு : காந்த முனைகளில் குழிந்த முனைத் துண்டுகள் பொருத்தப்பட்டிருப்பதால், சுருள் சுழலும் போதும்கூட காந்தப் புலம், சுருளின் செங்குத்துப் புயங்களுக்குச் செங்குத்தாகவே அமைந்திருக்கும் என அறிக.

டி ஆர்சன்வல் கால்வனோமீட்டர் (D'Arsonval's Galvanometer)

இவ்வமைப்பில் வலிமைமிக்க காந்தப்புலத்தை தரக்கூடிய ஆற்றல் மிக்க லாட காந்தம் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதிக எண்ணிக்கையுடைய சுற்றுக்களைக் கொண்ட செவ்வக வடிவ செப்புக் கம்பிச் சுருள், மெல்லிய பாஸ்பர்–ப்ரான்ஸ் இழையால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. காந்த முனைகளில் குழிந்த முனைத் துண்டுகள் பொருத்தப்பட்டு, சுருளின் எல்லா நிலைகளிலும் காந்தப்புலம் சுருளின் தளத்திற்கு இணையாய் அமையுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. சுருளின் சுழற்சி, விளக்கு-அளவுகோல் முறையில் அளவிடப்படுகிறது. இதற்கு ஏற்ப தொங்கலின் கீழ் முனையில் மிகச் சிறிய குழியாடி ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. தக்க ஒரு விளக்கிலிருந்து செலுத்தப்படும் மெல்லிய ஒளிக்கற்றை ஆடியில் பட்டு எதிரொலிக்கப்பட்டு, ஆடியிலிருந்து ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் கிடைமட்டத்தில் அமைந்த அளவுகோலின் மீது

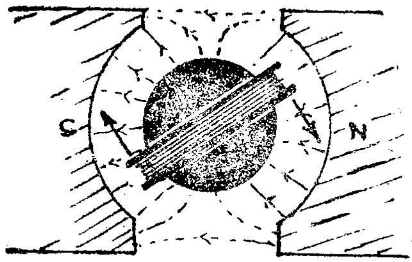
விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. P என்ற தாங்குதூண் உலோகத் தாலானது. இதனடியில் B என்ற கட்டுத் திருகு உள்ளது. கம்பிச் சுருளின் கீழ் முனை படத்தில் காட்டியவாறு R என்ற நுட்பமான சுருள் வில்லின் வழியே மற்றொரு கட்டுத் திருகான Aயுடன் இணைக்



படம் 92 (b)

கப்பட்டிருக்கிறது. சுருளின் உள்ளே ஆனால் சுருளைத் தொடாமல் ஒரு தேனிரும்பு உருளை (soft iron cylinder) வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் சுருள் இருக்கும் பகுதியில் செறிவான காந்தப் புலம் உண்டாகிறது.

சுருளின் வழியே I என்னும் அளவுடைய மின்னோட்டம் பாயும் போது சுருள் θ என்னும் கோணத்தில் திரும்பி நிற்பதாகக் கொள்வோம்.



படம் 92 (c)

$$I = \frac{C}{\mu_0 H A n} \cdot \theta$$

சுருள் θ° திரும்பும்போது கிடைமட்ட அளவுகோலில் ஒளிப் புள்ளி S என்னும் இடப்பெயர்ச்சி அடைவதாகக் கொள்வோம். ஆடிக்கும் அளவுகோலுக்கும் இடையே உள்ள தூரம் D என்றால்

$$\theta = \frac{S}{2D} \text{ ஆகும்}$$

எனவே $I = \dfrac{C}{\mu_0 H A n} \cdot \dfrac{S}{2D}$

$$I = K \cdot S \qquad \text{இங்கு } K = \frac{C}{2\mu_0 H A n D}$$

எனவே அளவுகோலில் காணப்படும் ஒளிப்புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சி சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் அமைந்திருக்கும் என அறியலாம். மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் K என்பது கால்வனு மீட்டரின் நுட்பத்தன்மை எண் (Figure of merit) எனப்படும். இதனை கால்வனுமீட்டர் மாறிலி என்றும் கூறுவர். கால்வனுமீட்டர் ஆடியிலிருந்து ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் அமைந்துள்ள அளவு கோலின் மீது ஒளிப்புள்ளி ஓர் அலகு தூரம் இடப்பெயர்ச்சி தருவதற்குத் தேவையான, சுருளின் வழியே பாய வேண்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவிற்குத்தான் கால்வனுமீட்டரின் மாறிலி அல்லது நுட்பத்தன்மை எண் என்று பெயர். இது மைக்ரோ ஆம்பியர்/மில்லிமீட்டர் என்ற அளவில் குறிக்கப் படுவது மரபு.

அலைவற்ற கால்வனுமீட்டர் (Aperiodic galvanometer)

சீரான மின்னோட்டத்தை அளவிட நேரும்போது, மின்னோட்டத்தால் விலக்கமுற்ற கம்பிச்சுருள் அதன் விலக்க நிலையில் அலையாதவாறு இருக்கவேண்டும். அதாவது சுருள் விரைந்து சமநிலை அடையுமாறு செய்யவேண்டும். கம்பிச்சுருள் செம்பு போன்ற உலோகச் சட்டம் ஒன்றின் மீது சுற்றப்பட்டால், சுருள் சுழலும் போது உலோகச் சட்டமும் அதனோடு சேர்ந்து சுழலும். அவ்வாறு சுழலும் உலோகச் சட்டத்தில் ஃபிளமிங் வலதுகை விதியின்படி, [கம்பிச் சுருளில் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும்] முதன்மை மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த் திசையில் தூண்டு மின்னோட்டம் ஒன்று தோன்றும். இத்தூண்டு மின்னோட்டத்தின் காரணமாக ஒரு சிறிய மீட்பு விசையிரட்டை உண்டாகும். இது தொங்கலின்

மீட்பு இரட்டையுடன் சேர்ந்து சுருளை விரைந்து சமநிலைப்படுத்த உதவுகிறது. இவ்வாறு அலைவுத்தடை (damping) அதிகம் கொண்ட கால்வனுமீட்டருக்கு அலைவற்ற கால்வனுமீட்டர் (Aperiodic galvanometer) என்று பெயர்.

இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டருக்கும், இயங்கு காந்த கால்வனுமீட்டருக்குமிடையே உள்ள ஒப்புமைச் சிறப்புகள்

1) இயங்கு காந்த கால்வனுமீட்டரை புவி காந்தத்தளத்தில் (Magnetic meridian) அமைக்கவேண்டும். ஆனால் இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டரை அவ்வாறு செய்யவேண்டியது இல்லை.

2) இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டரின் இயக்கம் புவி காந்தப் புலத்தினாலோ, அருகிலுள்ள மின்னியற்றி மற்றும் மின்மாற்றி இவைகளினாலோ பாதிக்கப்படுவதில்லை.

3) இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டரின் உதவியால் சீரான மின்னோட்டத்தை அளப்பதுடன் அதில் சிறிய மாற்றங்களைச்செய்து அதை பேலிஸ்டிக் கால்வனுமீட்டராகச் செயற்படச் செய்து மின்னூட்டத்தை (charge)யும் அளவிடலாம்.

4) இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டர் மிக நுட்பம் வாய்ந்தது. எனவே சில மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவுடைய மின்னோட்டத்தையும் அளவிட ஏற்றது.

5) இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டரின் நுட்பத் தன்மையை பின்வரும் வழிகளில் அதிகரிக்கலாம்.

(a) கம்பிச் சுருளில் உள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்தல். இதற்கு ஓர் எல்லை உண்டு. ஏனெனில் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாக அதிகமாக அதனால் உண்டாகும் மின்தடையும் அதிகரிக்குமல்லவா ?

(b) காந்தப்புலத்தின் வலிமை H-ஐ அதிகரித்தல். கோபால்ட்-இரும்பு கலவை உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட லாடகாந்தத்தைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் இதை அடையலாம்.

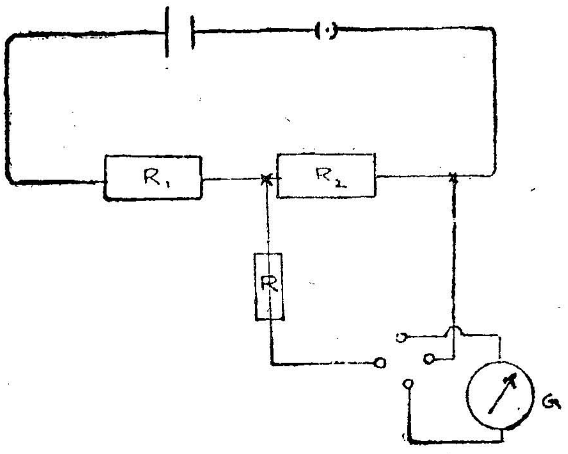
(c) சுருளின் பரப்பாகிய A-ஐ அதிகரிப்பதன் மூலம் நுட்பத் தன்மையை அதிகரிக்கலாம். இதனையும் ஓர் அளவுக்குமேல் செய்ய இயலாது. ஏனெனில் சுருள் காந்த முனைகளுக்கு இடையே சுழலக் கூடிய

தாகவும், மந்த நிலை திருப்புத்திறன் (Moment of inertia) குறைவாக உடையதாகவும் இருக்க வேண்டும். இல்லாவிட்டால் குறைவான மின்னோட்டத்தை அளக்கமுடியாமல் போய்விடும்.

(d) தொங்கலின் 'C' மதிப்பைக் குறைத்தல். தொங்கல் இழை குறைந்த விறைப்புக்குணகமும், நல்ல இழுவிசை வலிவும் கொண்டதாக இருக்கவேண்டும். பாஸ்ஃபர்-ப்ரான்ஸ் அல்லது வெள்ளி பூசப்பட்ட குவார்ட்ஸ் இழை மிகப்பொருத்தமான தொங்கலாகும்.

கால்வனுமீட்டரின் தடையைக் கண்டுபிடித்தல்

ஒரு 2 வோல்ட் பாட்டரியை இரு மின்தடைப் பெட்டிகள் R_1, R_2 தொடுசாவி ஆகியவற்றுடன் தொடரிணைக்க. R_2 வை ஒரு தடைப் பெட்டி R, கால்வனுமீட்டர் G ஆகியவற்றிற்குப் பக்கமுறையில் இணைக்க. R_1-ல் ஓர் ஓமும் R_2-ல் 9999 ஓம்களும் இருக்கும்போது $R_1 + R_2 = 10000$ ஓம்கள். $R = O$ எனக்



படம் 93

கொண்டு சாவியை அழுத்தி விலக்கம் d-யை அளக்க. R-ல் படிப்படியாகத் தடையை ஏற்படுத்தி விலக்கத்தை $\frac{d}{2}$-க்குக் குறைக்க. R-ல் தடை X எனில் கால்வனுமீட்டரின் தடை $G = X$ R_2-ல் பல்வேறு தடைகளைப் பயன்படுத்தி எப்போதும் $R_1 + R_2 = 10000$ ஓம்களாக வைத்து G-ன் சராசரி மதிப்பைக் காண்க.

கோட்பாடு

ஒரு கிளையில் R_2-ம் மற்றொரு கிளையில் $(G+R)$-ம் தடைகள் கொண்ட இணைப்பின் விளைவு மின் தடை,

$$= \frac{R_2\,(G+R)}{R_2+G+R}$$

$$= \frac{R_2 G}{R_2+G} \quad (\because R=O)$$

$$= R_2 \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

ஏனெனில் R_2-வுடன் ஒப்பிட G மிகப் பெரிது.

பாட்டரி சுற்றில் முதல் மின்னோட்டம் $= \frac{E}{R_1+R_2}$

கால்வனுமீட்டரில் மின்னோட்டம் $= \frac{E}{R_1+R_2} \times \frac{R_2}{R_2+G}$

$$= \frac{ER_2}{(R_1+R_2)G}$$

($\because$ G-யுடன் ஒப்பிட R சிறியது)

$$\frac{ER_2}{(R_1+R_2)G} = Kd \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\frac{ER_2}{(R_1+R_2)\,(G+X)} = \frac{Kd}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

1-ஐ 2-ஆல் வகுக்க, $\frac{G+X}{G} = 2$

$\therefore G = X$

நுட்பத் தன்மை எண் (Figure of merit)

மேற்கூறிய சோதனையின்படி கால்வனுமீட்டருக்குத் தொடர் இணைப்பிலுள்ள R-ஐ நீக்கிவிட்டு இணைப்புகளைச் செய்க. R_1-ல் 1 ஓமும் R_2-ல் 9999 ஓம்களும் இருக்க $R_1 + R_2 = 10000$ ஓம்கள். கால்வனுமீட்டரில் விலக்கம் d-யைக் குறிக்க.

கால்வனு மீட்டரில் மின்னோட்டம் $= \frac{ER_2}{(R_1+R_2)\;G}$

$\therefore$ நுட்பத் தன்மை எண் $= \frac{ER_2}{(R_1+R_2)\,G} \times \frac{1}{d} \times 10^6$

மைக்ரோ ஆம்பியர்கள்/மி.மீ.

இதில் $E = 2$ வோல்ட்டுகள். G-ன் மதிப்பு சென்ற சோதனையின் சராசரி மதிப்பாகும். சோதனையை R_2-ன் பல்வேறு தடை

களுக்கு எப்போதும் $R_1+R_2 = 10000$ ஓம்கள் இருக்கச் செய்து நுட்பத்தன்மை எண்ணின் சாரசரி மதிப்பைக் காண்க.

அசைவுச் சுருள் கால்வனுமீட்டர்

ஊசிமுனை வகை (pivoted type) : தொங்குவகைக் கால்வனு மீட்டர் கையடக்கமாக இல்லாததால் ஊசிமுனை வகைகளும் பயன் படுகின்றன. முறுக்கு இழையில் தொங்க விடுவதற்குப் பதிலாகச் சுருள் ஒரு நிலை காந்தத் துருவங்களிடையே கல் பதித்த முனை களில் நிலையாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. அசைவுச் சுருளின் முன்னிலை தரும் இரட்டையை, சுருளின் மின்னோட்டம் நுழையும் துருவங்களுடன் இணைக்கப்பட்ட இரு காந்தத் தன்மையற்ற கேச-விற்கள் தோற்றுவிக்கின்றன. ஊசிமுனை வகை எப்போதும் அலை வற்ற வகையைச் சார்ந்ததாகும், சுருளின் காம்புடன் இணைந்த ஒரு காந்தத் தன்மையில்லா மெல்லிய குறிமுள் ஒரு பகுதி பிரிக்கப் பட்ட அளவு கோலில் அசைகின்றது. ஊசிமுனை வகைக் கால்வனு மீட்டர் பொதுவாக மின்னோட்டமானியாகவும் மின்னழுத்த மானியாகவும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

அம்மீட்டரும் வோல்ட் மீட்டரும்

ஒரு மின் சுற்றின் மின்னோட்டத்தை அளக்க அச்சுற்றில் தொடரிணைப்பு செய்யப்படும் சிறு தடைக் கருவியே அம்மீட்ட ராகும். கருவியின் தடை, அதன் இணைப்பில், சுற்றின் தடையைக் கணிசமாக மாற்றுமலிருக்குமாறு சிறியதாக இருக்க வேண்டும். மைக்ரோ ஆம்பியரை அளக்கும் ஒரு நுட்ப அசைவுச் சுருள் கால்வனு மீட்டரை மில்லி அம்மீட்டராகவும், மில்லி அம்மீட்டரை அம்மீட்டராகவும் பொருத்தமான தட மாற்றியைக் கொண்டு மாற்றலாம்.

10 மில்லி ஆம்பியர்கள் வரை அளக்கக் கூடிய ஒரு கால்வனு மீட்டரை 10 ஆம்பியர்களை அளக்கும் மின்னோட்டமானியாக மாற்ற வேண்டும். அஃதாவது முதன்மை மின்னோட்டமான 10 ஆம்பியர்களில் 10 மில்லி ஆம்பியர்கள் மட்டுமே கால்வனு மீட்டரில் செல்ல வேண்டும். S–ம், G–ம் தடமாற்றி, கால்வனு மீட்டரின் தடைகள் எனில்,

$$C_g = \frac{C.S}{S+G} \quad \therefore \quad 10\times10^{-3} = \frac{10\times S}{(S+G)}$$

$$1000\,S = S + G \quad ஃ \quad S = \frac{G}{999} \text{ ஓம்.}$$

தடைமாற்றியின் மதிப்பைக் கீழ்வரும் வாய்பாட்டின் மூலமும் பெறலாம். $S = \frac{G}{n-1}$. கால்வனு மீட்டர் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் முதன்மை மின்னோட்டத்தின் $\frac{1}{n}$ பாகமாகும்.

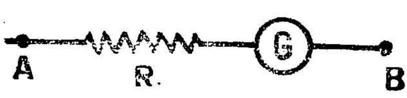
கால்வனு மீட்டர் வழியே செல்லும் முதன்மை மின்னோட்டத்தின் பகுதி $\frac{10 \times 10^{-3}}{10} = \frac{1}{1000}$

$\therefore$ $n = 1000$. அல்லது $S = \frac{G}{999}$

ஒரு மின் சுற்றின் மின்னழுத்த வேறுபாட்டை வோல்ட்களில் அளவிடச் சுற்றுக்குப் பக்க இணைப்பில் சேர்க்கப்படும் பெருந் தடைக் கருவியே வோல்ட் மீட்டராகும். கருவியில் உள்ள மின் தடை பக்க இணைப்பில் இருப்பதால் சுற்றிலுள்ள மின் ஓட்டத்தைப் பாதிக்காத அளவுக்குப் பெரிதாக இருக்கவேண்டும். ஓர் இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டருடன் கணக்கிடப்பட்ட பெரிய தடையைத் தொடர்ச் சுற்றில் இணைப்பதின் மூலம் அதை வோல்ட் மீட்டராக மாற்றலாம்.

5 மில்லி ஆம்பியர்கள்வரை அளக்கக்கூடிய ஒரு கால்வனு மீட்டரை 10 வோல்டகள்வரை அளக்கக்கூடிய ஒரு வோல்ட் மீட்டராக மாற்றவேண்டும் எனக்கொள்வோம். கால்வனு மீட்டரின் மின் தடை 20 ஓம் என்போம். இத்துடன் தொடரிணைப்பில் இணைக்கப்படவேண்டிய உயர் மின்தடை R என்றால் A, B என்ற இருமுனைகளுக்குமிடையே 5 மில்லி ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாயும்போது மின்னழுத்த வேறுபாடு 10 வோல்டகளாக இருக்க வேண்டும்.

அஃதாவது,



படம் 94

$(20+R)\ 5 \times 10^{-3} = 10$

$20+R = 2000$

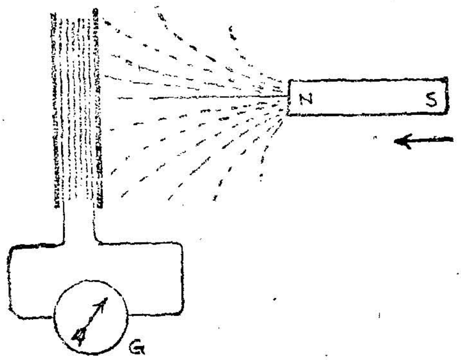
$R = 1980$ ஓம்கள்

ஆகவே 1980 ஓம்கள் மின் தடையுள்ள கம்பியைக் கால்வனு மீட்டருடன் தொடர் இணைப்பில் சேர்க்க அது 10 வோல்ட் வரை அளக்கக் கூடிய வோல்ட் மீட்டராக மாறும்.

2. மின்காந்தத் தூண்டல்
(Electro magnetic induction)

முடிவுற்ற கடத்தி ஒன்றின் வழியே புகுந்து செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கையில் மாறுதல் ஏற்படும் வண்ணம், கடத்தியோ அல்லது காந்தப்புலமோ இயங்கும்போது, கடத்தியில் ஒரு மின்னியக்கு விசையும் (electromotive force), அதன் காரண மாக ஒரு மின்னோட்டமும் உண்டாகின்றன. இந் நிகழ்ச்சி மின் காந்தத் தூண்டல் (electro magnetic induction) என்றழைக்கப் படுகிறது.

படத்திலுள்ள காப்பிட்ட (insulated) கம்பிச்சுருள் ஒன்றின் இரு முனைகளும் கால்வனுமீட்டருடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. *NS* என்ற கட்டைக் காந்தத்தைப் படத்தில் காட்டியவாறு,



படம் 95

சுருளின் அச்சு வழியே நகர்த்திச் செல்லும்போது, சுருளின் சுற்று களால் வெட்டப்படும் காந்த விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை மாறிக் கொண்ட (இங்கு அதிகமாகிக் கொண்டே) செல்கிறது இதனுல் மின்காந்தத் தூண்டல் நிகழக் கால்வனு மீட்டரின்

குறிமுள் அசைவதைக் காணலாம். காந்தத்தை அசைக்காமல் நிறுத்திவிட்டால் குறிமுள் அசைவது இல்லை. விசைக்கோடுகள் சுருளின் சுற்றுக்களால் வெட்டப்பட்ட போதும் அவற்றின் எண்ணிக்கையில் மாறுதல் இல்லை. ஆதலால் மின்னோட்டம் ஏற்படவில்லை. இதிலிருந்து கடத்தியின் சுற்றுகளால் வெட்டப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை மாறிக்கொண்டிருக்கும் வரையில் தான் (அதாவது காந்தமோ அல்லது சுருளோ இயங்கும் வரையில் தான்) மின்காந்தத் தூண்டல் நிகழும் என அறிகிறோம். இவ்வாறே சுருளுக்கு உள்ளேயிருந்து காந்தத்தை வெளியே இழுக்கும்போது குறிமுள் எதிர்த் திசையில் நகர்வதைக் காணலாம். எனவே வெட்டப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரித்துக் கொண்டிருக்கும்போது ஒரு திசையிலும், குறைந்து கொண்டிருக் கும்போது அதற்கு எதிர்த் திசையிலும் மின்னோட்டம் ஏற்படு கிறது என அறிகிறோம். கட்டைக் காந்தத்தை விரைவாகச் சுருளுக்குள் செருகும்போதும் குறிமுள்ளில் ஏற்படும் அசைவு அதிகமாகிறது. இதிலிருந்து மின் காந்தத் தூண்டலின் அளவு விசைக்கோடுகள் வெட்டப்படும் வேகத்தைப் பொருத்து இருக் கிறது என உணரலாம்.

காந்தத்தை நிலையாக வைத்துவிட்டுச் சுருளை முன்னும் பின் னும் நகர்த்தப்பட்டாலும் இதே விளைவுகள் ஏற்படக் காணலாம்.

மேற்கூறிய உண்மைகளைக் கண்ட மைக்கேல் ஃபாரடே என்ற விஞ்ஞானி இவ்வுண்மைகளை மின் காந்தத் தூண்டல் பற்றிய விதி என்னும் பெயரில் வெளியிட்டார்.

ஃபாரடே விதி: முடிவுற்ற கடத்தி ஒன்றுக்கும், ஒரு காந்தப் புலத்திற்குமிடையே சார்பு இயக்கம் ஏற்பட்டு, காந்த விசைக் கோடு கள் கடத்தியால் வெட்டப்பட்டால் அக்கடத்தியில் ஒரு மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது. அம் மின்னோட்டத்தின் அளவு, விசைக்கோடுகள் வெட்டப்படும் நேர வீதத்திற்கு (rate) நேர்விகிதத்தில் இருக்கும்.

அவ்வாறு உண்டாகும் மின்னோட்டத்தின் திசைபற்றி லென்ஸ் (Lenz) என்பார் மற்றொரு விதியில் கூறினார்.

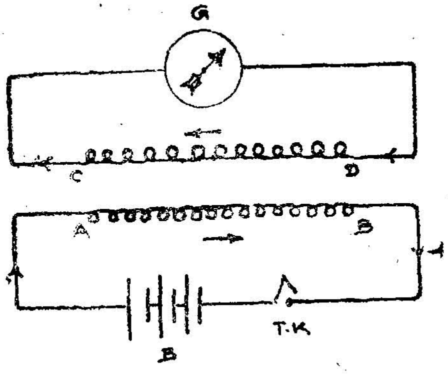
லென்ஸ் விதி (Lenz's law)

முடிவுற்ற கடத்தி ஒன்று, வெட்டுகின்ற காந்த விசைக்கோடு களின் எண்ணிக்கை மாற்றத்தால், கடத்தியில் உண்டாகும் மின்னியக்கு விசை, மற்றும் மின்னோட்டம் இவற்றின் திசை ஆகியவை மேற்கூறிய அம் மாற்றத்தைத் தடுப்பதற்கு உரிய திசையில் இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டாகப் படம் 95-ல் காந்த வடமுனை சுருளை நோக்கிச் செல்கிறது. இப்போது வெட்டப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரித்துக்கொண்டிருக்கிறது. இம் மாற்றத்தால் சுருளில் உண்டாகும் மின்னோட்டம், இம்மாற்றத்தை எதிர்க்கும் வகையில் அமையும். அஃதாவது சுருளில் எந்தத் திசையில் மின்னோட்டமிருந்தால் சுருளின் முகம் காந்த வடமுனையாக மாறித் தன்னை நோக்கி வரும் கட்டைக் காந்த வடமுனையை எதிர்த்துத் தள்ளி விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிப்பதைத் தடுக்குமோ அந்தத் திசையில் மின்னோட்டம் ஏற்படும் என்பதுதான் லென்ஸ் கூறிய விதியின் பொருளாகும்.

மின்காந்தத் தூண்டல் மற்றும் அது பற்றிய ஃபாரடே விதி, மற்றும் லென்ஸ் விதி ஆகியவற்றை முதன்மைச் சுருள் மற்றும் துணைச் சுருள் முறை மூலமும் விளக்கலாம்.

படம் 96–ல் *AB* என்பது ஒரு நீண்ட, காப்பிடப்பட்ட கம்பியால் சுற்றப்பட்டிருக்கும் சுருள். இதன் முனைகள் ஒரு மின்கலத்துடன், தட்டுசாவி (tap key) ஒன்றின் வழியே இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இச் சுருள் முதன்மைச்சுருள் (primary coil) எனப்படும்.



G : கால்வனு மீட்டர்

AB : முதன்மைச் சுருள்

CD : துணைச் சுருள்

B : மின்கல அடுக்கு

TK : தொடு சாவி

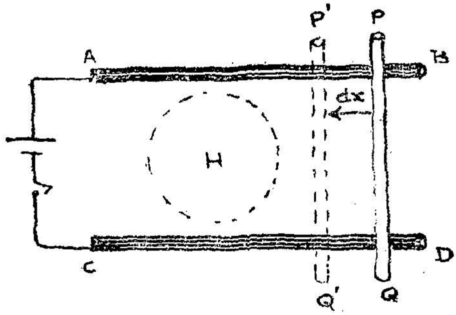
படம் 96

CD என்ற மற்றொரு சுருள் முதன்மைச் சுருளைத் தொடாமல் அதன்மீது சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இது துணைச்சுருள் எனப்படும். இதன் முனைகள் ஒரு கால்வனு மீட்டருடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

தட்டு சாவியை அழுத்தியவுடன் முதன்மைச் சுருளின் வழியாக ஓடும் மின்னோட்டம் ஒரு காந்தப்புலத்தை உருவாக்குகிறது.

காந்தப்புலம் உருவாகும்போது அதன் செறிவு, சுழி அளவிலிருந்து தொடங்கி, மின்னோட்டம் அதிகமாகிப் பெரும அளவினை அடையும்போது தானும் பெரும அளவினை அடையும். எனவே, விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையும் சுழியிலிருந்து ஒரு பெரும எண்ணிக்கையை அடைந்திருக்கும். இந்தக் கோடுகள் உருவாக உருவாகத் துணைச் சுருளால் இவை வெட்டப்படுகின்றன. எனவே, துணைச் சுருளால் வெட்டப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை மாறிக் கொண்டே செல்கிறது. இதனால் துணைச் சுருளில் ஒரு மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. அம் மின்னோட்டம் முதன்மைச் சுருளின் மின்னோட்டத் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் இருக்கும். முதன்மைச் சுருளில் மின்னோட்டம் சீராக பாயத்தொடங்கிய பின்பு அதனால் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் செறிவும் சீராகிவிடும். எனவே விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை மாறுவதற்கு இடமில்லை. ஆகவே துணைச் சுருளில் மின்னோட்டம் இருக்காது. இதிலிருந்து முதன்மைச் சுருளில் மின்னோட்டம் பாயத் தொடங்கிச் சீரான அளவை அடைவதற்கு ஆகும் அந்தச் சிறிய கால இடைவெளியில் மட்டுமே மின் தூண்டல் நிகழ்கிறது என்பதை உணரவேண்டும்.

தொடு சாவியை அழுத்துவதை விட்டு விட்டால் சீராக ஓடிக் கொண்டிருந்த மின்னோட்டம் மிகச் சிறியகால இடைவெளிக்கு பிறகு சுழி அளவினை அடையும். இதனால் அதிலுண்டான காந்தப் புலம் அழியத் தொடங்கும். எனவே அக் கால இடைவெளிக்குள் துணைச் சுருளால் வெட்டப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை மேற்கூறிய பெரும அளவிலிருந்து சுழியாக்க் குறைந்து விடும் இப்போது மின்தூண்டல் ஏற்படும். இம் மின் தூண்டல் தரும் மின்னோட்டம் முந்தைய திசைக்கு எதிர்த் திசையில் இருப்பதைக் கால்வனா மீட்டர் காட்டும்.



படம் 97

தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் அளவு

AB மற்றும் CD என்ற இரு இணைக்கடத்திகள் கிடைமட்டத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றின் இடைத்தூரம் l மீட்டர், PQ என்ற உலோகத் தண்டு ஒன்று AB மற்றும் CD என்ற கடத்திகளின் மீது அவற்றிற்கு குறுக்கே, எளிதில் உருண்டு செல்லுவதற்கு ஏற்றவாறு போடப்பட்டிருக்கிறது. A மற்றும் C என்ற முனைகள் மின்கலம் ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக, கீழிருந்து மேலே H செறிவுடைய காந்தப்புலம் ஒன்று செயற்படுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வமைப்பு காற்று அல்லது வெற்றிட ஊடகத்திலமைந்திருக்கிறது. ஆகவே அவ்விடத்தின் காந்த கடத்துதிறன் μ_0 என்க. சுற்றிலுள்ள தொடு சாவியை அழுத்தியவுடன் PQ வழியே I என்ற மின்னோட்டம் பாய்கிறது. காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட l மீட்டர் நீளமுடைய கடத்தியின் வழியே I என்ற மின்னோட்டம் பாய்கிறது. எனவே அக்கடத்தியின் மீது பயட் மட்டும் சாவர்ட் விதியின்படி $\mu_0 H I l$ அளவுடைய விசை உண்டாகிறது. ஃபிளமிங் இடக்கை பெருவிரல் விதிப்படி PQ தள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறு தள்ளப்பட்ட கடத்தி PQ நிலையிலிருந்து dx தூரம் நகர்ந்து $P'Q'$ நிலைக்கு வருவதாகக் கொள்வோம். இந்நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதற்கு ஆகும் காலம் dt என்க.

$$\left.\begin{array}{r}\text{விசை செய்த வேலையின்}\\ \text{அளவு}\end{array}\right\} = \mu_0 H I \; l.\, dx$$

$$= \mu_0 H I\, dA \qquad (1)$$

$$\because \quad l\, dx = dA$$

இங்கு dA என்பது PQ என்ற கடத்தி கடந்து சென்ற காந்தப் புலப் பரப்பாகும். ஒரு புலத்தின் செறிவு H என்றால் அப்புலத்தின் ஓரலகுக் குறுக்குப் பரப்பின் வழியே μ_0 H விசைக்கோடுகள் செல்வதாகக் கொள்வது (இங்கு புலம் காற்றில் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது) மரபு. $\mu_0 H$ என்பது B என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்பட்டு பாய்மச் செறிவு (flux density) என அழைக்கப்படுகிறது.

மேற்கூறியவாறு PQ நகரும்போது அது வெட்டிச் செல்லும் மொத்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை dN என்றால்

$$dN = \mu_0 H \,.\, dA \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து

விசை செய்த வேலை $= I\,dN$ (3)

$$\because \quad \mu_0 H\,dA = dN$$

நிகழ்ச்சி நடைபெற்ற dt என்ற காலத்தில் மின்கலம் செலவிட்ட மின்னாற்றலின் அளவு $= E\,.\,I\,.\,dt$ ஆகும். இங்கு E என்பது மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையாகும். இவ்வாற்றலின் ஒரு பகுதி சுற்றில் மின்னோட்டம் பாயும்போது வெப்பமாக மாற்றப்பட்டிருக்கும். சுற்றின் மின் தடை R ஓம்கள் என்றால் வெப்பமாக மாற்றப்பட்ட ஆற்றலின் அளவு $R\,I^2\,dt$ ஆகும்.

மின்கலம் செலவிட்ட ஆற்றல் } = நடைபெற்ற வேலை + உண்டான வெப்பம்

$$E\,I\,dt = I\,d\,N + R\,I^2\,dt$$

$$E\,dt = d\,N + R\,I\,dt$$

$$E = \frac{d\,N}{dt} + R\,I$$

$$\therefore \quad I = \frac{E}{R} - \frac{d\,N}{dt} \cdot \frac{1}{R}$$

எனவே சுற்றின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் எதிர்பார்ப்பதுபோல் $\frac{E}{R}$ அல்ல என்றும், அது $\frac{d\,N}{dt} \cdot \frac{1}{R}$ அளவு குறைகிறது என்றும் அறிகிறோம். இது, கடத்தி காந்தப்புலத்தின் குறுக்கே அதை வெட்டிச் செல்லும்போது அதில், பாயும் முதன்மை மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த் திசையில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் அளவு என அறிகிறோம்.

ஆகவே தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவு $= -\frac{d\,N}{dt}$ என்றாகிறது. இதிலுள்ள எதிர்க்குறி தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை, மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசைக்கு எதிராக இருப்பதைக் காட்டுகிறது.

$$\text{தூண்டப்படும் மின்னோட்டம்} = -\frac{d\,N}{dt} \cdot \frac{1}{R}$$

$$\text{தூண்டப்படும் மின்னூட்டம்} = -\frac{d\,N}{dt} \cdot \frac{1}{R} \cdot dt$$

$$= -\frac{d\,N}{R}$$

மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாடுகளில் $\frac{dN}{dt}$ என்பது காந்த பாய்ம மாற்ற விகிதம் (Rate of change of magnetic flux) எனப்படும்; dN என்பது காந்த பாய்ம மாற்றம் ஆகும்.

$$\left.\begin{array}{l}\text{தூண்டப்பட்ட}\\ \text{மின்னியக்கு விசை}\end{array}\right\} = -\frac{dN}{dt} \text{ என்பதை}$$

$$= -\frac{\mu_0 H\, dA}{dt}$$

$$= -\mu_0 H.\, l.\, \frac{dx}{dt}$$

$$= -\mu_0 \mathrm{H}.\, l.\, v$$

$$\because \frac{dx}{dt} = v$$

இங்கு v என்பது கடத்தி காந்தப் புலத்தைக் கடக்கும் திசை வேகம் ஆகும். l என்பது புலத்தை வெட்டிச் செல்லும் கடத்தியின் நீளம் என்றும் H புலத்தின் செறிவு என்றும் μ_0 என்பது காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் காந்த கடத்து திறன் என்றும் அறிக.

சுழல் மின்னோட்டம் அல்லது ஃபோகால்ட் மின்னோட்டம் (Eddy currents or Foucault's Currents)

செப்புத்தட்டு போன்ற ஒரு பெரிய உலோகத்துண்டு காந்தப்புலம் ஒன்றுடன் சார்பு இயக்கத்தில் ஈடுபடும்போது, செப்புத்தட்டில் அதன் இயக்கத்தை எதிர்க்கின்ற வகையில் ஒரு தூண்டு மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. இம் மின்னோட்டம் சுழித்துச் செல்லும் நீர் போலக் காணப்படுவதால் இம் மின்னோட்டம் சுழல் மின்னோட்டம் எனப்படுகிறது. இதனை ஃபோகால்ட் என்பவர் கண்டுபிடித்ததினால் இது ஃபோகால்ட் மின்னோட்டம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. இவ் விளைவினால் ஆற்றல் வீணாகிறது. மாறுதிசைமின்னோட்ட டைனமோக்கள் மற்றும் டிரான்ஸ்ஃபார்மர்கள் ஆகியவற்றின் உள்ளகத்தில் உள்ள தேனிரும்பு ஒரே திண்மத் துண்டாக (Solid piece) இருந்தால் அதில் சுழி மின்னோட்டத்தினால் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு அதிகமாக இருக்கும். எனவே அவற்றின் உள்ளகம், ஒன்றிலிருந்து ஒன்று நன்கு காப்பிடப்பட்ட பல தேனிரும்புத் தகடுகளைக் கொண்டு செய்யப்பட்டிருக்கிறது.

அலைவற்ற கால்வனு மீட்டரில் (aperiodic galvanometer) உள்ள சுருள் உலோக அமைப்புச் சட்டம் (frame) ஒன்றின்மீது சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. காந்தப்புலத்தில் சுருளுடன், அமைப்புச் சட்டமும் சுழலும்போது அதில் சுழல் மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. இது சுருளின் சுழற்சியை எதிர்ப்பதால் குறிப்பிட்ட இருப்ப முற்ற பின்பு சுருள் விரைவில் அசையா நிலை பெறுகிறது. ஆனால் கணத்தாக்கு கால்வனு மீட்டரில் (ballistic galvanometer) உலோக அமைப்புச் சட்டத்திற்குப்பதிலாக மர அமைப்புச் சட்டம் அல்லது மூங்கில் அமைப்புச் சட்டத்தின்மீது சுருள் சுற்றப்பட்டிருப்பதால் இது உடனே அசையா நிலைக்கு வராது. நீண்ட நேரம் அலைவுற்ற பின்பு நிலைக்கு வரும். இதனை அலைவற்ற கால்வனு மீட்டராக உபயோகிக்க வேண்டிய நிலை ஏற்படும்போது, அதன் இருமுனை (Terminals) களுக்கு இடையே ஒரு தடித்த உலோகப் பட்டையை இணைத்துக் குறுக்குச் சுற்றுக்க (Short Circuit) வேண்டும்.

பரிமாற்ற மின் தூண்டல்
(Mutual induction)

துணைச் சுருள் மற்றும் முதன்மைச் சுருள் என்ற இரு சுருள்களைக்கொண்ட அமைப்பில் ஒன்றில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றங்கள் மற்றொன்றில் மின்னியக்கு விசையைத் தூண்டும் என்று கண்டோம். முதன்மைச் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் C-என்றால் துணைச் சுருளின் வழிச் செல்லும் காந்தப் பாயத்தின் (magnetic flux) அளவு MC ஆகும். இங்கு M என்பது இரு சுருள்களுக்கும் இடையே உள்ள பரிமாற்ற மின் நிலைமம் (Mutual inductance) என்ற மாறிலியாகும். இம் மாறிலியின் மதிப்பு இரு சுருள்களும் இருக்கின்ற அமைப்பு நிலைகளையும், அவற்றிலுள்ள சுற்றுகளின் எண்ணிக்கையையும், அவையிருக்கின்ற ஊடகத்தின் இயல்பினையும் பொருத்தது ஆகும்.

இரு சுருள்களுக்கு இடையே உள்ள பரிமாற்ற மின் நிலைமத் தகவு (coefficient of mutual inductance) என்பது அவ்விரு சுருள்களில் ஒன்றின் வழியே ஓர் அலகு மின்னோட்டம் பாயும்போது மற்றச் சுருளை வெட்டிச் செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகள் அல்லது காந்தப் பாயங்களின் எண்ணிக்கைக்கு எண்ணளவில் சமமாகும்.

முதன்மைச் சுருளின் வழியாக I என்ற மின்னோட்டம் பாயும் போது துணைச் சுருளை வெட்டிச் செல்லும் காந்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை N என்றால்,

$$N = MI$$

$$dN = MdI$$

$$\frac{dN}{dt} = M.\ \frac{dI}{dt}$$

ஆனால் $\frac{dN}{dt}$ என்பது தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவாகும். அது e என்றால்,

$$e = M\ \frac{dI}{dt}$$

இதிலிருந்து $\frac{dI}{dt} = 1$ ஆக இருக்கையில் $e = M$ ஆகும் என அறிகிறோம். எனவே,

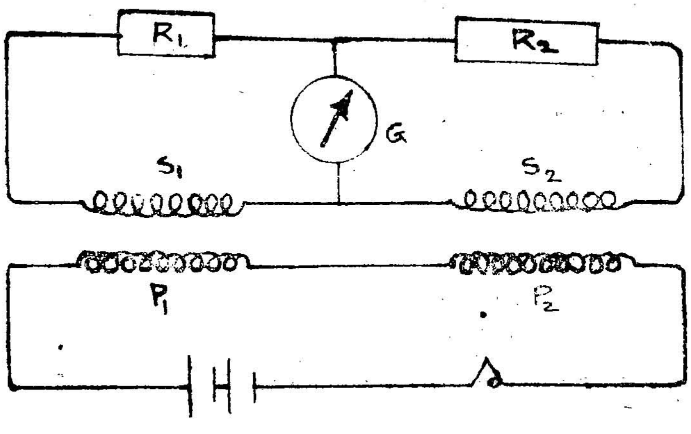
பரிமாற்ற மின் நிலைமத்தகவு என்பது அவ்விரு சுருள்களில் ஒன்றின் வழியே செல்லும் மின்னோட்ட மாற்ற வீதம் ஓர் அலகாக இருக்கும்போது மற்ற சுருளில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசைக்கு எண்ணளவில் சமமாகும் என்றும் அறிகிறோம். பரிமாற்ற மின் நிலைமத்திற்கான நடைமுறை அலகு ஹென்ரி (henry) என்பதாகும். இரு சுருள்களுள் ஒன்றின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம், வினாடிக்கு ஓர் ஆம்பியர் வீதத்தில் மாறும்போது மற்ற சுருளில் தூண்டப் படும் மி. இ. விசையின் அளவு ஒரு வோல்ட், ஆனால் அவ்விரு சுருள்களுக்குமிடையே உள்ள பரிமாற்ற மின் நிலைமம் ஒரு ஹென்ரி ஆகும்.

இரு இணைச் சுருள்களுக்கிடையே உள்ள பரிமாற்ற மின் நிலைம விகிதம் காணல்

P_1, P_2 என்பன இரு இணைச் சுருள்களின் முதன்மைச் சுருள்கள் என்றும் S_1, S_2 என்பன துணைச் சுருள்கள் என்றும் கொள்வோம். P_1, P_2 என்பன ஒரு மின்கலத்துடன் தட்டுசாவி வழியே தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. S_1 S_2 என்ற துணைச் சுருள்கள் R_1, R_2 என்ற மின் தடைப் பெட்டிகளுடன் மற்றொரு தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. கணத் தாக்கு கால்வனா மீட்டர் ஒன்றின் ஒரு முனை R_1. R_2 ஆகியவற்றின் சந்திப்புடனும், மறு முனை S_1,S_2 ஆகியவற்றின் சந்திப்புடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

S_1-ஐத் துண்டித்துவிட்டுத் தட்டுசாவியை அழுத்திக் கால்வனு மீட்டரில் காணும் துள்ளு விலக்கின் திசையைக் கவனிக்க வேண்டும். பின்னர் S_1–ஐ இணைத்துவிட்டு S_2–ஐத் துண்டித்து விட்ட பின்பு, தட்டு சாவியை அழுத்தி மீண்டும் கால்வனு மீட்டரில் ஏற்படும் துள்ளுவிலக்கின் திசையைக் கவனிக்கவேண்டும். இவ்விரு துள்ளு விலக்குகளும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் இருக்குமாயின் இணைப்பு சரியாக இருக்கிறது என்றும், நாம்சோதனையைத் தொடங்கலாம் என்றும் சொள்ளவேண்டும். அவ்வாறின்றி இரண்டிலும் துள்ளு விலக்குகள் ஓரே திசையில் இருக்குமாயின் S_1 அல்லது S_2 என்ற சுருள்களுள் ஏதாவது ஒன்றின் முனைகளை மாற்றி இணைத்துப் பின் சோதனையைத் தொடங்க வேண்டும்.

R_1, R_2 என்ற மின்தடைப் பெட்டிகளில் தேவையான மின்தடையை ஏற்படுத்தித் தட்டு சாவியை அழுத்தும் போது கால்வனு மீட்டரில் துள்ளு விலக்கு இல்லாதபடி செய்யவேண்டும்.



படம் 98

M_1, M_2 என்பன அந்த இணைகளின் பரிமாற்ற மின் நிலைமம் என்றும், I என்பது முதன்மைச் சுருளின் வழியாகச் செல்லும் சீரான மின்னோட்டம் என்றும் கொண்டால் S_1 என்ற சுருளின் ஏற்படும் மின்தூண்டலால், கால்வனு மீட்டர் வழியாகச் செல்லும் மின்னோட்டம்.

$$= \frac{M_1 I}{s_1 + R_1}$$

S_2 என்ற சுருளில் ஏற்படும் மின்தூண்டல் காரணமாகக் கால்வனு மீட்டர் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் $= \dfrac{M_2 I}{s_2 + R_2}$

இச் சமன்பாடுகளில் உள்ள s_1, s_2 என்பன துணைச் சுருள்களின் மின் தடையாகும். இம் மின்னோட்டங்கள் கால்வனு மீட்டர் வழியே எதிரெதிர்த் திசைகளில் செல்கின்றன என்றும் அறிவோம்.

கால்வனு மீட்டரில் துள்ளு விலக்கு இல்லாத நிலை உண்டாகும் போது,

$$\frac{M_1 I}{s_1+R_1} = \frac{M_2 I}{s_2+R_2} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{s_1+R_1}{s_2+R_2}$$

இச் சோதனையை மீண்டும் செய்து R_1', R_2' என்ற புதிய மின் தடை மதிப்புகளுக்கு மறுபடியும் கால்வனு மீட்டரில் துள்ளு விலக்கு இல்லாமல் செய்தால்,

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{s_1+R_1'}{s_2+R_2'} \text{ என்றாகும்.}$$

ஆகவே,

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{s_1+R_1}{s_2+R_2} = \frac{s_1+R_1'}{s_2+R_2'}$$

$$= \frac{R_1-R_1'}{R_2-R_2'} \text{ ஆகும்.}$$

இதே போன்று இச் சோதனையை மீண்டும் மீண்டும் செய்து $\dfrac{M_1}{M_2}$ -ன் சராசரி மதிப்பினைக் காணலாம்.

அக மின் நிலைமத்தகவு
(Coefficient of Self induction)

ஒரு மின்கலத்துடன் தட்டுசாவி வழியே இணைக்கப்படும் கம்பிச் சுருள் ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். தட்டு சாவியை அழுத்தி மின் சுற்றில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சியவுடன் சுருளில் உண்டாகும் காந்த விசைக் கோடுகள், அச் சுருளின் சுற்றுகளினாலேயே வெட்டப்படுவதால் அச்சுருளில் முதன்மை மின்னோட்டம் பாயும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் ஒரு தூண்டு மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. தட்டு சாவியை விட்டவுடன் மின்

சுற்று துண்டிக்கப்பட, கம்பிச் சுருளின் மின்விசைக் கோடுகள் நீங்குகின்றன. அவ்வாறு நீங்கும் விசைக்கோடுகள் அக் கம்பிச் சுருளினாலேயே வெட்டப்படுவதால் மின்னோட்டம் குறையும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில், அதாவது முதன்மை மின்னோட்டத்தின் திசையில் ஒரு தூண்டு மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. இதனால் முதன்மை மின்னோட்டம் பெரும மதிப்பினை அடைவதும் அல்லது சிறும மதிப்பினை அடைவதும் குறிப்பிட்ட சிறியகால இடைவெளிக்குப் பிறகே ஏற்படுகிறது.

இத்தகைய அகத்தூண்டல் காரணமாக ஏற்படும் மின்னியக்கு விசை,

$$e = -\frac{dN}{dt} \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு N என்பது அக் கம்பிச்சுருளை வெட்டிச்செல்லும் காந்த விசைக் கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை ஆகும்.

$N = LI$ ஆகும். இங்கு I என்பது கம்பிச் சுருளில் பாயும் சீரான மின்னோட்டத்தையும் L என்பது கம்பிச் சுருளின் அகமின் நிலைமத் தகவினையும் குறிக்கின்றன.

ஒரு கம்பிச் சுருளின் அகமின் நிலைமத்தகவு என்பது அக் கம்பிச் சுருள்வழியே ஓர் அலகு மின்னோட்டம் பாயும்போது அக் கம்பிச் சுருளால் வெட்டப்படும் காந்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கைக்கு எண்ணளவில் சமமாகும்.

$$N = LI \quad \text{ஆகும்}$$

$$\therefore \frac{dN}{dt} = \frac{LdI}{dt} = e \text{ (எண்ணளவில்)}$$

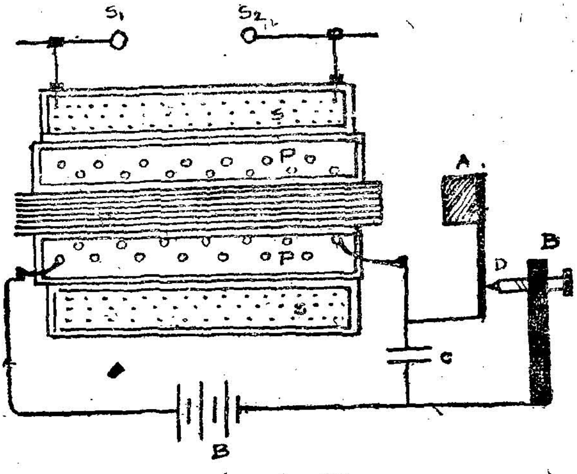
எனவே, $\frac{dI}{dt} = 1$ ஆக இருக்கையில் $L = e$ ஆகும். எனவே ஒரு கம்பிச் சுருளின் அகமின் நிலைமத்தகவு என்பது அக் கம்பிச் சுருளின் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம் மாறும் வீதம் ஓர் அலகாக இருக்கையில், தூண்டப்படும் மின் இயக்கு விசைக்கு எண்ணளவில் சமமாகும்.

மின்னோட்ட மாற்றம், வினாடிக்கு ஓர் ஆம்பியராக இருக்கையில் அக் கம்பிச் சுருளில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை ஒரு வோல்ட்டு ஆனால் கம்பிச் சுருள் அகமின் நிலைமத்தகவு ஒரு ஹென்றி ஆகும்.

தூண்டு மின் சுருள்
(Induction Coil)

இது பரிமாற்ற மின் தூண்டல் என்ற தத்துவத்தில் இயங்கும் ஒரு கருவியாகும். இதில் முதற் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே தரப்படும் குறைந்த மின்னழுத்தம், துணைச் சுருளின் இரு முனைகளுக்குமிடையே, உயர்ந்த மின்னழுத்தமாக வெளிவருகிறது. இது திறமையாக இயங்குவதற்கு முதற் சுருள் உண்டாக்கும் காந்தப்புலத்தின் செறிவு மிக அதிகமாகவும், துணைச் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாகவும், முதற் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்தை விரைவாக மாறி மாறி நிறுத்துவதும் பாய்ச்சுவதுமாகச் செய்யக்கூடிய ஓர் அமைப்பும் இருக்க வேண்டும்.

முதற் சுருள், இரண்டு மூன்று அடுக்குகளாகச் சுற்றப்பட்ட, தடித்த, அதிக மின்னோட்டத்தைத் தாங்கக்கூடிய கம்பியால் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. இச் சுருள் தேனிரும்பால் ஆகிய



(படம் 99)

P : தேனிரும்புக் கம்பிக்கட்டின் மேல் சுற்றப்பட்ட முதற் சுருள்

S : துணைச் சுருள்

A : தேனிரும்பு வில்லை பொருத்தப்பட்ட பித்தளை வில்

B : உலோகத் தூணும் அதிலுள்ள திருகு முனையும்

D : பிளாட்டின் தொடு புள்ளிகள்.

C : மின் தேக்கி

உள்ளகத்தின் மீது சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுள்ளகம் ஒரே தண்டாக இல்லாமல் பல தேனிரும்புக் கம்பிகளை ஒன்று சேர்த்துச் செய்த கட்டாக இருக்கிறது. இதனால் சுழி மின்னோட்டத்தால் ஏற்படக்கூடிய ஆற்றல் இழப்பு தடுக்கப்படுகிறது. மேலும் இத்தகைய உள்ளகம் முதற் சுருள் உண்டாக்கும் காந்தப் புலத்தின் செறிவினை அதிகப்படுத்துகிறது. முதற் சுருளின்மீது ஆனால், அதைத் தொடாமல் மெல்லிய கம்பியால் ஆகிய, பல ஆயிரக் கணக்கான சுற்றுகளை உடைய துணைச் சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதன் முனைகள் S_1, S_2 - என்ற திருகு முனைகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. முதற் சுருள் ஒரு மின்கல அடுக்குடன் ஏப் தொடர்பு முறிப்பான் (App's contact – breaker) என்ற அமைப்பின் வழியே தொடர் மின் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. தொடர்பு முறிப்பான் அமைப்பில் பித்தளை வில் ஒன்று இருக்கிறது. அதன் நுனியில் தேனிரும்பால் ஆகிய ஒரு கனமான வில்லையும் இடையில் மின் தொடர்புக்கேற்ற பிளாட்டின முனையும் அமைந்துள்ளன. உலோகத் தூண் ஒன்றின் வழியாகச் சென்று பித்தளை வில்லைத் தொடுகின்ற திருகின் முனையிலும் பிளாட்டினம் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பித்தளை வில்லுக்கும், உலோகத் தூணுக்கும் இடையில் ஒரு மின் தேக்கி இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

திருகைச் சுழற்றி அதன் முனை பித்தளை வில்லைத் தொடுமாறு செய்து சுருளை இயங்கச் செய்கிறோம். முதல் சுருளின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்போது, துணைச்சுருளில் தூண்டப்பட்ட எதிர் மின்னோட்டம் ஒன்று உண்டாகிறது. இந்த சமயத்தில் முதற் சுருளின் உள்ளகம், காந்தத் தன்மை பெறுவதால் அஃது அதற்கு எதிரே உள்ள வில்லின் முனையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் தேனிரும்பு வில்லையினை இழுக்கிறது. இதனால் வில் முன்னோக்கிச் சாய, மின் சுற்று துண்டிக்கப்படுகிறது. மின் சுற்று துண்டிக்கப்படுவதனால் காந்தப் புலத்தின் ஆற்றல் அழிகிறது, இதனால் மீண்டும் துணைச் சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் (முந்தைய திசைக்கு எதிர்த் திசையில்) ஒன்று உண்டாகிறது. காந்தப் புலம் இழந்ததால் முன்னோக்கி இழுக்கப்பட்ட பித்தளை வில் விடப்படுகிறது, வில்லின் மீளும் ஆற்றலால் அது பழைய நிலைக்கு வரும்போது பிளாட்டினப் புள்ளிகளுக்கு இடையே மீண்டும் தொடர்பு ஏற்பட முதற் சுருள் வழியே மின்னோட்டம் பாய்கிறது. அப்போது மேற் சொன்ன எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் மீண்டும் நடைபெறுகின்றன. இவ்வாறு முதற் சுருளில் மின்னோட்டம் மாறி மாறிப் பாய்ச்சப்படுவதும், நிறுத்தப்படுவது

மான செயல் தொடர்ந்து விரைவாக நடைபெறுகின்ற வரையில் துணைச் சுருளில் எதிர்த் திசைகளில் மாறி மாறிச் செல்கின்ற ஒரு மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது.

முதற் சுருளில் மின்னோட்டம் பாயும்போது இருக்கும் வேகத்தைவிட நிற்கும்போது இருக்கின்ற வேகம் அதிகமாகும். ஏனெனில் பாயும்போது கம்பியின் மின் தடை மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதால் அதை எதிர்த்து மின்னோட்டம் பாய்ந்து பெரும மதிப்பினை அடைய நாழிகை ஆகிறது. ஆனால் நிறுத்தப்படும்போது சுற்றின் மின் தடை கணக்கிலடங்காத அளவு ஆவதால் மின்னோட்டம் திடுமென நின்றுவிடுகிறது. எனவே மின்னோட்டம் பாயும்போது விசைக் கோடுகள் வெட்டப்படும் வீதத்தைவிட மின்னோட்டம் நிற்கும்போது விசைக் கோடுகள் வெட்டப்படும் வீதம் அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் அளவு முதற் சுருளில் மின்னோட்டம் நிற்கும்போது அதிகமாக இருக்கும்.

முதற் சுருளில் மின்னோட்டம் நிற்கும்போது அச் சுருளின் அகத் தூண்டுதல் காரணமாக உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் பிளாட்டின தொடு புள்ளிகளுக்கு இடையே மின் பொறி உண்டாக்குவதற்குத் தேவையான அளவுடையதாக இருப்பதால் பிளாட்டின முனைகளைப் பாழ் படுத்துவதுடன், விசைக்கோடுகள் அழிவுறும் வேகத்தையும் குறைக்கின்றன. இதனால் துணைச் சுருளில் உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட மின் இயக்கு விசையின் அளவு வெகுவாகக் குறைகிறது. மின்பொறி ஏற்படுவதும் அதனால் உண்டாகும் பாழான விளைவுகளும் பின்வரும் முறையில் தவிர்க்கப்படுகின்றன. படத்தில் காட்டியவாறு பொறி இடைவெளிக்கு இணையாக ஒரு மின் தேக்கி இணைக்கப்படுகிறது. முதற் சுருளில் மின்னோட்டம் தடைப்படும்போது அதில் ஏற்படும் அக மின் தூண்டல் காரணமாக உண்டாகும் மின்னோட்டம், மின்பொறி உண்டாக்குவதற்குப் பதிலாக மின்தேக்கியைமின்னூட்டம் பெறச் செய்கிறது. இதனால் மின்பொறி உண்டாக்கப்படுவதில்லை. ஆகவே பிளாட்டின முனைகள் வீணாவதில்லை. மேலும் காந்தப்புலம் விரைந்து அகற்றப்படுவதால் துணைச்சுருளில் தூண்டுதல் மின்னோட்டம் அதிகமாகிறது. இதனோடு மின்னூட்டம் பெற்ற மின்தேக்கி முதற் சுருள் வழியாக எதிர்த்திசையில் (குறையும் மின்னோட்ட திசையில்) ஒரு மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகிறது. இதனால் காந்தப்புலம் அகற்றப்படுவதால் துணைச் சுருளில் எந்தத் திசையில் மின்னோட்டம் உண்டாகுமோ, அதே திசையில் மேலும் தூண்டுதல் மின்னோட்டம் உண்டாகிறது, ஆகவே மின்தேக்கி

இணைக்கப்படாவிட்டால் துணைச் சுருளில் உண்டாகும் மின்னோட்டத்தைப்போல ஏறக்குறைய இருமடங்கு மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. எனவே முதற் சுருளில் மின்னோட்டத் தொடர்பு ஏற்படும் போது துணைச்சுருளில் மிகக் குறைந்த தூண்டு மின்னோட்டமும், தொடர்பு முறியும்போது மிக வலிமை வாய்ந்த தூண்டு மின்னோட்டமும் உண்டாகின்றன. எனவே துணைச் சுருளின் முனைகள் மிக அருகில் இல்லாதபோது அவற்றிற்கு இடையே நிகழும் மின்னோட்டத்தை ஒரு திசை மின்னோட்டம் என்று கூறலாம். எவ்வாறெனில் முதற் சுருளில் மின்னோட்டத் தொடர்பு ஏற்படும்போது துணைச் சுருளில் மிகக் குறைந்த தூண்டு மின்னோட்டம் ஏற்படுவதால் இது துணைச் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே பாய்ந்து செல்ல இயலாது. ஆனால் முதற் சுருளில் மின்னோட்டத்தொடர்பு முறியும் போது மிக வலிய தூண்டு மின்னோட்டம் ஏற்படுவதால் அது துணைச் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளியில் பாய்ந்து செல்லும். துணைச் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே ஒரு மின்னிறக்கக் குழாயை (discharge tube) இணைத்தால் முதற் சுருளின் மின்னோட்டத்தில் முறிவு ஏற்படும்போது மட்டுமே அதன் வழியாக மின்னிறக்கம் ஏற்படும். ஆகையால் இஃது ஒரு திசை மின்னழுத்த வேறுபாட்டை இணைப்பதற்குச் சமமாகிறது.

தூண்டு மின் சுருளின் பயன்கள்

(1) மின்னிறக்கக் குழாய்களில் அடைபட்டிருக்கும் வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம் ஏற்படச் செய்து அவ் வாயுக்களின் நிறமாலைகளைப் பெறுவதற்கும்,

(2) X கதிர்களை உண்டாக்குவதற்கும்,

(3) இரசாயனச் சேர்க்கை மற்றும் பகுப்பாய்வுகளின்போது மின் பொறி உண்டாக்குவதற்கும்,

(4) கோல் ராஷ் மின் சுற்று அமைப்பில் (Kohlrausch) தேவைப்படும் சிறிய மாறுதிசை மின்னழுத்த வேறுபாடு உண்டாக்குவதற்கும்,

(5) பொதுவாக ஆய்வுச்சாலைகளிலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

மின்மாற்றிகள்
(Transformers)

(1) மிக அதிகமான மின்னியக்கு விசையும் குறைந்த மின்னோட்ட வலிவும் உடைய, மாறுதிசை மின்னோட்டத்தைக்

குறைந்த மின்னியக்கு விசையும் அதிக மின்னோட்ட வலிவுமுடைய மாறுதிசை மின்னோட்டமாக மாற்றுவதற்கும். அதுபோன்றே (2) குறைந்த மின்னியக்கு விசையும் அதிக மின்னோட்ட வலிவும் கொண்ட மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை அதிக மின்னியக்கு விசையும் குறைந்த மின்னோட்ட வலிவுமுடைய மாறுதிசை மின்னோட்டமாக் மாற்றுவதற்கும் அமைந்த சாதனம் மின்மாற்றி எனப்படும். முதல்வகை மின்மாற்றிகளை இறக்கு மின்மாற்றிகள் (Step down Transformers) என்றும், இரண்டாம்வகை மின் மாற்றிகளை ஏற்று மின் மாற்றிகள் (Step up Transformers) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

இறக்கு மின்மாற்றி (Step down Transformer)

இதில் ஒரு முடிவற்ற தேனிரும்பு உள்ளகத்தின் (endless core) மீது முதற்சுருள் மற்றும் துணைச்சுருள் என்ற இரு சுருள்கள் சுற்றப் பட்டிருக்கின்றன. சுழி மின்னோட்டம் என்ற தலைப்பில் குறிப்பிட் டிருப்பது போல் இவ்வுள்ளகம் பலமெல்லிய தேனிரும்புத் தகடு களால் உருவாக்கப்பட்டிருக்கும். இதனால் சுழிமின்னோட்டத்தால் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்புகள் ஏற்படுவதில்லை. மாற்றப்பட வேண்டிய மின்னோட்டம் முதற் சுருளின் முனைகளுக்கிடையே தரப்படுகிறது. இதிலுள்ள முதற் சுருள், அதிக எண்ணிக்கை யுடைய நன்கு காப்பிடப்பட்ட சுற்றுகளைக் கொண்டிருக்கும். இதில் குறைந்த வலிமையுடைய மின்னோட்டம் செலுத்தப்படு மாகையால் இதற்கு உபயோகிக்கப்படும் கம்பிகள் அம் மின் னோட்டத்தைத் தாங்குவதற்கான தடிப்பு உடையதாக இருக்க வேண்டும். இதன் துணைச் சுருள் நன்கு காப்பிடப்பட்டதாகவும், குறைந்த சுற்றுகளை உடையதாகவும், வேண்டிய அளவு தடிப்பு உடையதாகவும் இருக்கும். துணைச் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே நமக்குத் தேவையான குறைந்த மின்னியக்கு விசையும், அதிக மின்னோட்ட வலிமையுமுடைய மாறுதிசை மின்னோட் டம் கிடைக்கும்.

முதற்சுருள் வழியே செல்லும் மாறுதிசை மின்னோட்டம், மின் மாற்றியின் உள்ளகத்தைக் காந்தமாக்குவதும், அழிப்பதுமாக இருக்கிறது. இதனால் துணைச்சுருளில் மின்தூண்டல் ஏற்பட்டு, அதில் ஒரு மாறுதிசை மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. மின்மாற்ற விகிதம் முதற்சுருள் மற்றும் துணைச் சுருள் இவற்றிலுள்ள சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை விகிதத்தில் இருக்கும். முதற் சுருள் மற்றும் துணைச்சுருள் ஆகியவற்றிலுள்ள சுற்றுகளின்

எண்ணிக்கை முறையே n_1, n_2 என்றும், முதற்சுருளில் தரப்படும் v_1 என்ற மின்னியக்கு விசை துணைச் சுருளில் v_2 என்ற மின்னியக்கு விசையாக வெளிவருகிறது என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ ஆகும்.}$$

முதற் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் i_1 என்றும் துணைச் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் i_2 என்றும் கொண்டால் $v_1 i_1 = v_2 i_2$ ஆக இருக்க வேண்டும். ஏனெனில், இம் மாற்றத்தினால் ஆற்றல் எவ்விதத்திலும் வீணாக்கப்படவில்லை.

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\text{துணைச்சுருள் மின்னோட்டம்}}{\text{முதற்சுருள் மின்னோட்டம்}} = \frac{\text{முதற் சுருள் சுற்றுகள்}}{\text{துணைச் சுருள் சுற்றுகள்}}$$

மேற்கூறிய சமன்பாட்டினைப் பெறுவதில் ஆற்றல் எவ்விதத்திலும் வீணாவதில்லை என்று நாம் வைத்துக் கொண்ட போதிலும் நடைமுறையில் ஆற்றல் ஓரளவு பாழாகவே செய்கிறது. அவ்வாறு ஆற்றல் பாழாகும்போது அதில்.

(1) ஒரு பகுதி கம்பிச் சுருளில் வெப்பமாகவும்.

(2) ஒரு பகுதி தவறிச் செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகளாகவும்,

(3) ஒரு பகுதி தொடர்ந்து காந்தமாற்றத்திற்கு உள்ளாகும் உள்ளகத்தில் உண்டாகும் தயக்கநிலை இழப்பாகவும் வீணாகின்றன.

ஏற்று மின் மாற்றியின் அமைப்பு

இதன் அமைப்பு இறக்கு மின்மாற்றியின் அமைப்பைப் போன்றதே. ஆனால் இதன் முதற்சுருள் மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையுடைய சுற்றுகளையும், துணைச்சுருள் மிக அதிக எண்ணிக்கையுடைய சுற்றுகளையும் கொண்டிருக்கும். இஃது இயங்கும் விதமும், இதற்கான சமன்பாடுகளும் முற்றிலும் இறக்கு மின்மாற்றியை ஒத்திருக்கும்.

பயன்கள்

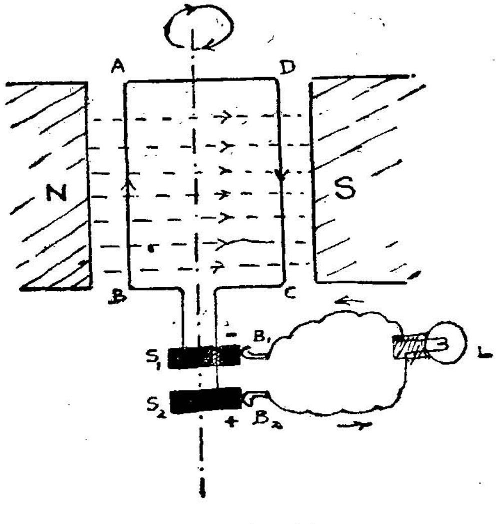
வானொலிப் பெட்டிகளில், இறக்கு மின்மாற்றிகளும், ஏற்று மின்மாற்றிகளும் அதிக அளவில் பயன்படுகின்றன. மின்சாரம்

உற்பத்தி செய்யுமிடங்களிலிருந்து. வழங்கும் இடங்களுக்கு அனுப்பப்படும்போது அவற்றின் மின்னியக்கு விசைகள் பல மடங்கு உயர்த்தப் படுவதால் அவ்விடங்களில் ஏற்றுமின் மாற்றிகளும், வழங்கும் முனைகளில் அவற்றைக் குறைந்த மின்னியக்கு விசைகளாக மாற்றி வழங்குவதற்கு இறக்கு மின்மாற்றிகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

டைனமோ (Dynamo)

இது சுழல் இயக்க ஆற்றலை மின் ஆற்றலாக மாற்றுவதற்கான அமைப்பு ஆகும். முடிவற்ற கம்பிச் சுருள் ஒன்று ஒரு காந்தப் புலத்தில் சுழலும்போது அச் சுருளில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது.

சுருள் இயங்கும் திசை, காந்தப் புலத்தின் திசை தூண்டப் படும் மின்னோட்டத்தின் திசை ஆகிய இம் மூன்றையும் இணைத்துக் கூறும் ஒரு விதி உண்டு அது ஃபிளமிங்கின் வலக்கைப் பெரு விரல் விதி (Fleming's right hand thumb rule) என்றழைக்கப்படுகிறது.

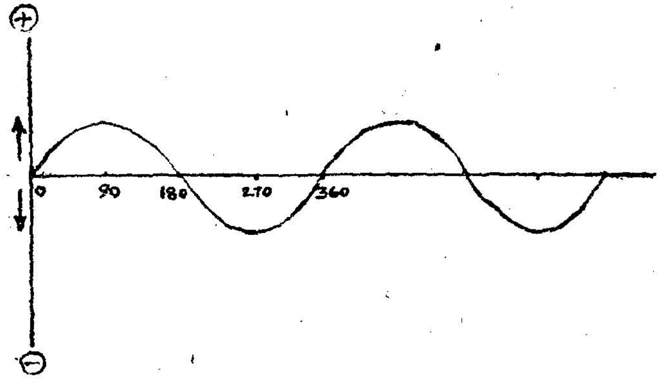


படம் 100

வலக்கையின் நடுவிரல், ஆட்காட்டி விரல், பெரு விரல் ஆகியவற்றை ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான மூன்று திசைகளில் விரித்து வைத்துக் கொள்வோம். ஆட்காட்டி விரல், காந்தப் புலத்தின் திசையையும், பெரு விரல் கம்பி இயங்கும் திசையையும் குறிக்கும்போது நடுவிரல் அக் கம்பியில் செல்லும் மின்னோட்டத்தின் திசையைக் குறிக்கும்.

N, S என்ற காந்த முனைகளுக்கு இடையே நிலவும் சீரான காந்தப்புலம் புள்ளிக்கோடுகளால் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. அக் காந்தப்புலம் இடப் பக்கமிருந்து வலப் பக்கமாக அமைந்திருக் கிறது. அப்புலத்தில் $ABCD$ என்ற செவ்வக வடிவக் கம்பிச் சுருள் ஒன்று படத்தில் காட்டியவாறு இடப் பக்கமிருந்து வலப்பக்கமாக அதன் அச்சில் சுழல்கிறது. சுருளின் கம்பி நன்கு காப்பிடப் பட்டுள்ளது. அதன் முனைகள் S_1, S_2 என்ற இரு வழுக்கு வளையங்களுடன் (Slip rings) இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றின் மீது அழுத்திக் கொண்டிருக்கும் B_1, B_2 என்ற இரு உலோகத்தூரிகை (metal brushes) களுக்கு இடையே மின் விளக்குக் குமிழ் ஒன்று இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

தொடக்கத்தில் சுருள், புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். அப்போது சுருளின் AB என்ற புயம் அடியிலும், CD என்ற புயம் மேலும் இருக்கும். சுழற்றத் தொடங் கியவுடன் AB என்ற புயம் நம்மை நோக்கி வெளியே வரும்போது CD என்ற புயம் நம்மை விட்டு விலகி உள்ளே போகும். இவ்வாறு முதல் அரைச் சுற்று சுற்றும் வரையில் AB நம்மை நோக்கி வந்து கொண்டும் CD நம்மை விட்டுப்போய்க்கொண்டும் இருக்கும். AB நம்மை நோக்கி வரும்போது, ஃபிளமிங் வலக்கைப் பெரு விரல் விதிப்படி AB என்ற புயத்தில் BA என்ற திசையிலும், CD என்ற புயத்தில் DC என்ற திசையிலும் மின்னோட்டம் செல்லும். AD



படம் 101

BC என்ற புயங்கள் காந்தப் புலத்தை வெட்டுவது இல்லை. எனவே சுருளில் $BADC$ என்ற திசையில் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. ஆகவே C என்ற முனையுடன் இணைக்கப்பட்ட S_2 என்ற வழுக்கு

வளையம் + முனையாகவும் B என்ற முனையுடன் இணைக்கப்பட்ட S_1 என்ற வழுக்கு வளையம்— ஆகவும் செயற்படுகின்றன. ஆகவே மின்னோட்டம் S_2-விருந்து S_1-க்குச் செல்கிறது. சுழற்சியின் மறுபாதியின்போது AB என்பது நம்மைவிட்டு உட்பக்கம் நோக்கிச் செல்கிறது. CD என்பது வெளிப்பக்கமாக நம்மை நோக்கி வருகின்றது. அப்போது CD என்ற புயத்தில் மின்னோட்டம் CD என்ற திசையிலும் AB என்ற புயத்தில் AB என்ற திசையிலும் செல்லும். ஆகவே சுருளில் மின்னோட்டம் CDAB என்ற திசையில் ஓடும். அப்போது B-யுடன் இணைக்கப்பட்ட S_1 + ஆகவும் C-யுடன் இணைக்கப்பட்ட S_2— ஆகவும் செயற்படுகின்றன. எனவே மின்னோட்டம் S_1-லிருந்து S_2-க்குச் செல்லும். இவ்வாறு ஒருமுறை சுருள் சுழலும்போது வெளிச் சுற்றில் மின்னோட்டம் இங்குமங்கும் ஒரு முறை போய்வருகிறது. அஃதாவது திசையை மாற்றிக் கொள்கிறது அல்லது அலைவுறுகிறது. மேலும் சுருளின் வெவ்வேறு நிலைகளுக்கு ஏற்ப அதனுல் வெட்டப்படும் காந்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையும் வேறுபடுவதால் அதற்குத் தக்கபடி தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவும் வேறுபடும். காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக இருந்த சுருள் 180° சுழன்றவுடன் மின்னியக்கு விசையின் அளவு படத்தில் காட்டியவாறு ஏறி இறங்கிச் சுழிநிலையை அடைகிறது. பிறகு சுருள் 180°-லிருந்து 360°-க்குச் சுழலும்போது மின்னியக்குவிசை தன் திசையை மாற்றிக்கொண்டு எதிர்த் திசையில் ஒரு முறை ஏறி இறங்குகிறது. இம்மாற்றங்களைப் படம் 101 தெளிவாகக் காட்டுகிறது. மின்னியக்கு விசை மாற்றங்கள் ஒரு Sine வரைபடத்தை ஒத்திருக்கிறது. எனவே இத்தகைய மின்னியக்குவிசையும் அதனுல் உண்டாகும் மின்னோட்டமும் முறையே மாறுதிசை மின்னியக்கு விசை யென்றும் மாறுதிசை மின்னோட்டம் என்றும் அழைக்கப் படுகின்றன.

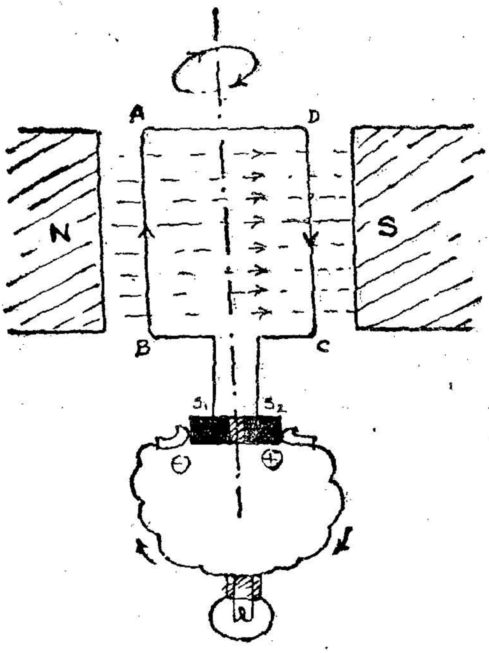
இவ்வாறு மாறு திசை மின்னோட்டத்தைத் தருகின்ற டைனமோக்கள் ஏ. சி. டைனமோக்கள் எனப்படுகின்றன.

டி. சி டைனமோ (D C. Dynamo)

இதிலும் ஏ. சி டைனமோவைப் போன்றே ஒரு சீரான காந்தப்புலத்தில், செவ்வக வடிவச் சுருள் ஒன்று தன் அச்சில் சுழல்கிறது. இச் சுருளின் முனைகள், பிளக்கப்பட்ட வழுக்கு வளையத்துடன் படத்தில் காட்டியவாறு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வளையத் துண்டுகளின் மீது அழுத்திக் கொண்டிருக்கும் உலோகத் தூரிகைகள் மின் விளக்குக் குமிழ் ஒன்றுடன் இணைக்கப்

பட்டிருக்கின்றன; பிளக்கப்பட்ட வளைவுப்பகுதிகளுக்கு இடையே மெல்லிய காப்புத் தகடு வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது.

தொடக்கத்தில் சுருளின் தளம் காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு சுழற்சியின் முதல் பாதியிலும் B_2 என்ற தூரிகை S_2 என்ற பிளவுபட்ட வளையப்பகுதியைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. அப்போது B_1 என்ற தூரிகை S_1 என்ற பிளவுபட்ட வளையப்பகுதியைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. வலக்கைப் பெருவிரல் விதிப்படி அப்போது மின்னோட்டம், சுருளில் $BADC$-என்ற திசையில் பாய்கிறது. ஆகவே, வெளிச் சுற்றில் B_2–லிருந்து B_1–க்கு மின்னோட்டம் செல்கிறது. ஆகவே B_2–நேர் முனையாகவும் B_1–எதிர் முனையாகவும் அமைகின்றன, ஒவ்வொரு சுழற்சியின் பிற்பாதியிலும் B_2–என்ற தூரிகை S_1–என்ற பிளவுபட்ட வளையப்பகுதியையும், B_1 என்ற



படம் 102

தூரிகை S_2–என்ற பிளவுபட்ட வளையப் பகுதியையும் தொட்டுக்கொண்டிருக்கின்றன. அப்போது வலக்கைப் பெருவிரல் விதிப்படி சுருளில் மின்னோட்டம் $CDAB$ என்ற திசையில் செல்கிறது. ஆகவே வெளிச் சுற்றில் S_1–லிருந்து S_2-க்கு மின்னோட்டம் பாயும்.

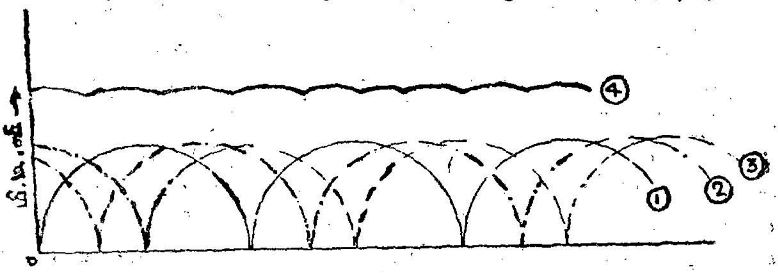
அஃதாவது அப்போது S_1-ஐத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் B_2-விருந்து B_1-க்குப் பாயும். ஆகவே சுழற்சியின் முற்பாதியிலும் சரி பிற்பாதியிலும் சரி, மின்னேட்டம் B_2-என்ற தூரிகையிலிருந்து B_1-என்ற தூரிகைக்குப் பாய்கிறது. அஃதாவது ஒரு திசையில் பாய்கிறது. இதிலிருந்து டைனமோவின் சுருளில் இரு திசை மின்னேட்டமாக இருப்பது வெளிச்சுற்றில் ஒரு திசை மின்னேட்டமாக இருக்கிறது என அறிகிறோம். இம் மாற்றத்திற்குக் காரணமான பிளவுபட்ட வளைய அமைப்பு திசைமாற்றி (commutator) என்றும் கூறப்படும். இவ் வமைப்பு சரிவர இயங்குவதற்கு தூரிகைகள் பின்வருமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும். சுழலும் கம்பிச் சுருளில் மின்னியக்கு விசை சுழியளவாக இருக்கையில் அஃதாவது மின்னேட்டம் திசைமாறுகின்ற அந்தக் கணத்தில் தூரிகைகள் ஒரு வளையப்பகுதியை விட்டுவிட்டு அடுத்த பிளவுபட்ட வட்டப்பகுதியைத் தொடுமாறு அமைக்கப்படவேண்டும். அஃதாவது தூரிகைகள் அவ் வளையத்தின் விட்ட எதிர் முனைகளைத் (diametrically opposite points) தொட்டுக் கொண்டிருக்கவேண்டும்.

இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் மின்னேட்டம் ஒரு திசை மின்னேட்டமாக இருப்பினும் அதன் அளவு ஏறி இறங்கும் தன்மையுடையதாகப் படத்தில் காட்டியவாறு இருக்கும்.

இப்போது உள்ள கம்பிச் சுருளுக்குச் செங்குத்தாக மற்றொரு சுருள் வைக்கப்பட்டு இருப்பதாகக்கொள்வோம். இதனால் ஒரு சுருளில் மின்னேட்டத்தின் அளவு பெரும எல்லையை அடையும் போது மற்றதில் மின்னேட்டம் சுழியாக அமையும். ஆகவே வெளிச் சுற்றில் மின்னேட்டம் சுழி நிலையை அடையாது. இவ்வாறே சம இடைவெளி கொடுத்துப் பல கம்பிச் சுருள்கள் அமைக்கப்பட்டிருந்தால் ஒவ்வொரு சுருளிலும் வெவ்வேறு நேரங்களில் மின்னேட்டம் பெரும எல்லையை அடையும். இச்சுருள்கள் எல்லாம் தொடர்ச்சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருந்தால் எந்த ஒரு கணத்திலும் இச் சுருள்களில் உண்டாகும் மின்னியக்கு விசைகள் எல்லாம் ஒன்றாகத் தூரிகைகளில் தோன்றும். ஆகவே தூரிகைகளிடையே தோன்றும் மின்னியக்குவிசை ஏறக்குறைய மாறுமலே இருக்கும்.

சம இடைவெளி கொடுத்து அமைக்கப்பட்ட, மூன்று சுருள்களைக் கொண்ட டைனமோவில் உண்டாகும் மின்னேட்டத்தையும் அவற்றல் தூரிகைகளிடையே உண்டாகும் ஓரளவு நிலையான ஒருதிசை மின்னேட்டத்தையும் பின்வரும் படம் காட்டு

கிறது: மெல்லிய கோட்டால் குறிக்கப்பட்ட வரைபடம் (1) முதற்சுருளில் உண்டாகும் மின்னோட்டத்தையும், புள்ளியும் கோடும் கலந்த வரைபடம் (2) இரண்டாவது சுருளில் உண்டாகும் மின்னோட்டத்தையும், புள்ளி வரைபடம் (3) மூன்றாவது சுருளில் உள்ள மின்னோட்டத்தையும் குறிக்கின்றன. எந்த ஒரு கணத்திலும் இம் மூன்று வரைபடங்களும் தரும் மின்னியக்கு விசை அளவுகளின் கூட்டுத் தொகைக்கும், காலத்திற்குமான



படம் 103

வரையப்பட்ட வரைபடம் (4) தூரிகைகளுக்கு இடையே உள்ள ஓரளவு நிலையான ஒரு திசை மின்னோட்டத்தைக் குறிக்கிறது.

டைனமோக்களின் வகைகள்

பொதுவாக டைனமோக்களில் உள்ள காந்தப் புலம் மின்காந்தப் புலமாகவே இருக்கிறது. இதை உண்டாக்குவதற்குத் தேவைப்படும் மின்சாரம், சுருளில் தோன்றும் மின்சாரத்திலிருந்தே பெறப்படுகிறது. மின்காந்தத்தின் மீது சுற்றப்பட்டிருக்கும் சுருள் புலச் சுருள் (field coil) என்றும், சுழலும் சுருள் "ஆர்மெச்சூர்" (armature) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. மின்காந்தத்தின் உள்ளகம் தேனிரும்பாலாகியது. அதன் முனைத் துண்டுகள் (pole pieces) குழிவடிவாக இருப்பதால் அம் முனைகளுக்கு இடையே செறிவு மிக்க காந்தப்புலம் ஏற்படுகிறது. தேனிரும்பு உள்ளகத்தின் மீந்த காந்தம் (residual magnetism) தொடக்கத்தில் டைனமோவில் மின்சாரம் உண்டாகப் பயன்படுகிறது. டைனமோக்களில் மூன்று வகைகள் உள்ளன.

அவையாவன :

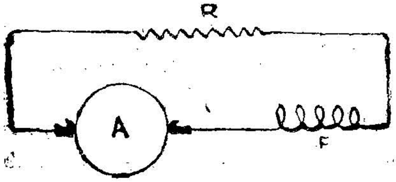
(1) தொடர் சுற்று டைனமோ (Series-wound dynamo)

(2) இணைக் கடச் சுற்று டைனமோ (Shunt-wound dynamo)

(3) கூட்டுச் சுற்று டைனமோ (Compound-wound dynamo)

(i) தொடர் சுற்று டைனமோ

இவ்வகை டைனமோவில் ஆர்மெச்சூர், புலச்சுருள் மற்றும் வெளிச்சுற்றில் உள்ள மின்தடை ஆகியவை தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. எனவே வெளிச் சுற்றில் ஓடுகின்ற அத்தனை மின்னோட்டமும், புலச்சுருளின் வழியாகவும் செல்லும். வெளிச் சுற்றில் உள்ள மின்தடையின் அளவு குறையும்போது புலச்சுருள் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு அதிகமாகும். இதனால் புலச்சுருளினால் உண்டாகும் காந்தப்புலத்தின் செறிவு அதிகமாகும். ஆர்மெச்சூரில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவு காந்தப் புலத்தின் செறிவையும் பொருத்தது ஆதலால் செறிவு அதிகமாகும் போது மின்னியக்கு விசை அதிகமாகும். ஆகவே இவ்வகை டைனமோவில் வெளிச் சுற்றின் மின்தடை குறைந்தால் டைனமோவில் அதிக மின்னழுத்த விசையும், வெளிச்சுற்று மின்தடை அதிகமானால், மிகக் குறைந்த மின்னழுதத விசையும் உண்டாகும் என்று அறிகிறோம்.



R : மின்தடை

F : புலச்சுருள்

A : ஆர்மெச்சூர்

படம் 104

(ii) இணைத் தடச் சுற்று டைனமோ

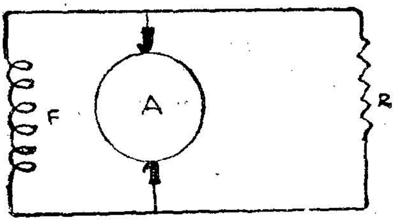
இவ்வகை டைனமோவில் புலச்சுருள் ஆர்மெச்சூருக்கு இணையாக இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே ஆர்மெச்சூர் தரும் மின்னோட்டத்தின் ஒருபகுதி புலச்சுருள் வழியாகவும், மீதி வெளிச் சுற்றிலிருக்கும் மின்தடை வழியாகவும் பாய்கின்றன.

வெளிச்சுற்றில் உள்ள மின்தடை குறைந்தால், வெளிச்சுற்று வழியே டைனமோ அனுப்பும் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. இதனால் புலச்சுருள் வழியே பாயும் மின்னோட்டப் பகுதி குறைகிறது. இதனால் காந்தப் புலத்தின் செறிவு குறைய, தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவும் குறைகிறது. ஆகவே வெளிச்சுற்று மின்தடை குறையும்போது. தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையும் குறைகிறது. மின்தடை அதிகரிக்கும்போது மின்னியக்கு விசையும் அதிகரிக்கிறது. வெளிச் சுற்று மின்தடை மிக மிகக் குறைந்து விடும்போது புலச்சுருளின் வழியாகப் பாயும்

மின்னோட்டம் மிகமிகக் குறைந்து விடுமாதலால் அப்போது தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை வெகுவாகக் குறைந்துவிடும்.

கூட்டுச் சுற்று டைனமோ

இவ்வகை டைனமோவில் இரு புலச்சுருள்கள் இருக்கின்றன. ஒன்று ஆர்மெச்சூருடன் தொடர்ச்சுற்றிலும், மற்றொன்று ஆர்மெச்சூருடன் இணைத்தடச் சுற்றிலும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் சுருளில் குறைந்த எண்ணிக்கையுடைய சுற்றுகளும், இணைத்தடச் சுற்றில் இணைக்கப்



படம் 106

பட்டிருக்கும் சுருளில் அதிக எண்ணிக்கையுடைய சுற்றுகளும் இருக்கின்றன. தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவு வெளிச் சுற்றில் உள்ள மின்தடையைப் பொருத்து மாறாமல் இருக்க வேண்டும் என்பதுதான் இந்த அமைப்பின் நோக்கம். இதில் வெளி மின் தடை குறையும்போதும், அதிகரிக்கும்போதும் புலச் சுருள்களின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் சீராகவே இருக்கும். ஆகவே புலச் செறிவும் அதன் காரணமாகத் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையின் அளவும் சீராக அமையும்.

மோட்டார் (Motor)

ஒரு திசை மின்னோட்ட டைனமோவும், மோட்டாரும் அமைப்பில் ஒன்றே ஆகும். மோட்டாரிலும் ஆர்மெச்சூர், புலச்சுருள் மற்றும் வெளிச்சுற்று மின்தடை போன்ற உறுப்புகள் பங்கேற்கின்றன. ஒரே பொறியை டைனமோவாகவும் மோட்டாராகவும் செயற்படுத்தலாம்.

ஆர்மெச்சூரை, விசையியல் ஆற்றல் கொண்டு சுழலச் செய்தால், ஆர்மெச்சூரில் மின்னியக்கு விசை ஏற்பட அதன் காரணமாக வெளிச் சுற்றில் மின்னோட்டம் பாயும் இப்போது பொறி டைனமோவாக வேலை செய்கிறது.

ஆர்மெச்சூர் வழியாக மின்னாற்றலைச் செலுத்தினால் அஃது ஆர்மெச்சூரை சுழலச் செய்கிறது. ஆர்மெச்சூரின் அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கப்பி ((puley)-யை நாடா ஒன்றுடன் இணைத்து வேண்டிய பொறிகளைச் சுழலச் செய்யலாம். எனவே டைனமோவில் விசையியல் ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாற்றப்படுகிறது என்றும், மோட்டாரில் மின்னாற்றல் விசையியல் ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது என்றும் அறிகிறோம்.

டைனமோக்களைப் போலவே, மோட்டார்களிலும், இணைச் சுற்று மோட்டார், இணைத்தடச்சுற்று மோட்டார் மற்றும் கூட்டுச் சுற்று மோட்டார் என மூன்று வகைகள் உள்ளன.

தொடர்ச் சுற்று மோட்டாரில் ஆர்மெச்சூரும், புலச்சுருளும், வெளிமின் தடையும் தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இது சுழல் வேகம் மாறுகின்ற மோட்டார் ஆகும். வெளிச் சுற்றிலுள்ள தடை குறைந்தால் இவ்வகை மோட்டார்களின் சுழல் வேகம் மிக மிக அதிகமாகும். இவ்வகை மோட்டார்கள் பளு தூக்கி எனப்படும். ''கிரேன்கள்'' (cranes) போன்றவற்றில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

தொழிற்சாலையில் பலவகையான இயந்திரங்களைச் சீராக ஓட்ட வேண்டியிருப்பதை நாம் அறிவோம். எனவே அவற்றில் வெளி மின் தடையைப் பொருத்துச் சுழல் வேகம் மாறாத அமைப்புடைய மோட்டார்கள் வேண்டும். இணைத்தடச் சுற்று உடைய மோட்டார்கள் இப் பணியை ஓரளவும், கூட்டுச் சுற்றுடைய மோட்டார்கள் பெருமளவுக்கும் பூர்த்தி செய்கின்றன.

மோட்டார்களில் ஏற்படும் பின் மின்னியக்கு விசை (back electro motive force)

மோட்டார்களில் உள்ள ஆர்மெச்சூர்களை மின்னாற்றல் கொண்டு சுழலச் செய்யும்போது, அஃது ஒரு காந்தப் புலத்தில் சுழல்கின்ற காரணத்தால் அதில் மின்காந்தத்தூண்டுதல் ஏற்பட்டு அதனால் அதில் ஒரு தூண்டு மின்னியக்கு விசை உண்டாகும். இம் மின்னியக்கு விசை மோட்டாரில் செயற்படும் வெளி மின்னியக்கு விசையின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் செயற்படும் என நாம் அறிவோம். வெளி மின்னியக்கு விசை E–என்றும் தூண்டு மின்னியக்கு விசை E_1 என்றும், ஆர்மெச்சூரின் மின்தடை R என்றும் கொண்டால், ஆர்மெச்சூர் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்

டம் $= \frac{E-E_1}{R}$ ஆகும். மோட்டார் ஓடாமலிருக்கின்ற நிலையில் திடீரென்று வெளி மின்னியக்கு விசை முழுவதையும் நாம் ஆர்மெச்சூரில் செலுத்தினால் அப்போது உண்டாகும் மின்னோட்டம் $= \frac{E}{R}$ ஆகும். R-என்பது மிக மிகக் குறைவு ஆகையால் $\frac{E}{R}$ என்பது மிக மிக அதிகமாகி ஆர்மெச்சூர் சுருள் எரிந்துபோகும். ஆகவே எடுத்த எடுப்பிலேயே வெளி மின்னியக்கு விசை அத்தனையையும் மோட்டாரில் செலுத்தக்கூடாது. மோட்டார் ஓடத்தொடங்கி அதற்குரிய சுழல் வேகத்தை அடைந்த பிறகுதான் முழு வெளி மின்னியக்கு விசையையும் செலுத்த வேண்டும். ஆர்மெச்சூர் எரிந்து போகாமல் தடுப்பதற்கு ஆர்மெச்சூருடன் ஒரு மின் தடைமாற்றியை இணைச்சுற்றில் இணைத்து வைத்திருப்பார்கள். தொடக்கத்தில் மின்தடை மாற்றியின் முழு மின் தடையும் சுற்றில் இருக்கும். மோட்டார் ஓடி அதன் சுழல்வேகத்தை அடைந்தவுடன் மின்தடை மாற்றியின் தடையைக் குறைத்துக்கொண்டே வந்து பிறகு முற்றிலுமாக நீக்கிவிடுவார்கள்.

குறிப்பு:- மோட்டார்களின் துவக்கி (Starter) என்ற அமைப்பில் உள்ள துவக்கும் கைப்பிடி (Starting handle) எப்போதும் மின் தடைமாற்றியின, பெரும மின்தடை நிலையில் இருக்கும். மோட்டாரை ஓடச் செய்து உரிய வேகத்தை எட்டியவுடன், மின் தடையைக் குறைக்கக் கைப்பிடியைத் தூக்கிச் சுழிமின்தடை நிலையை அடைய வேண்டும். சுழி மின்தடை நிலைக்கு அருகில் மோட்டாரை இயக்கும் அதே மின்னாற்றலினால் இயங்கும் ஒரு மின்காந்தம் இருக்கிறது. இது துவக்கும் கைப் பிடியைப் பிடித்துக் கொள்ளும். மோட்டாரை நிறுத்தும்போது அம் மின்காந்தம் செயலிழப்பதால் அது கைப்பிடியை விட்டு விடுகிறது. இதனால் கைப்பிடி பழைய (பெரும மின் தடை நிலைக்கு) நிலைக்கு வந்து விடுகிறது. எனவே மறு முறை மோட்டாரை ஓட விடும்போது சுருள் புகைந்துவிடும் என்ற பயத்திற்கு இடமில்லாமற் செய்து விடுகிறது.

ஓம் விதி

(Ohm's law)

மின் அழுத்த வேறுபாடு (Potential difference)

ஒரு கடத்தியின் வழியே 't' என்ற காலத்திற்கு 'C' என்ற மின்னோட்டம், பாய்ந்தால் அக் கடத்தியின் வழியே செல்லும் மின்னூட்டத்தின் (charge) அளவு Ct அலகுகள் ஆகும். ஒரு நிலை மின்னலகு மின்னோட்டம், ஒரு வினாடி காலத்திற்குப் பாய்ந்தால் மின்னூட்டத்தின் அளவு ஒரு நிலை மின்னலகு ஆகும். மின்னூட்டத்தின் நடைமுறை அலகு ஒரு கூலூம் (coulomb) ஆகும். ஒரு கடத்தியின் வழியே ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம், ஒரு வினாடி காலத்திற்குப் பாயும்போது அதன் வழியே செல்லும் மின்னூட்டத்தின் அளவு ஒரு கூலூம் ஆகும். ஒரு நிலை மின்னலகு மின்னூட்டம் = 10 கூலூம் ஆகும்.

ஒரு கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கு இடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றினால், அதிக மின்னழுத்தப் புள்ளியிலிருந்து குறைவான மின்னழுத்தப் புள்ளியை நோக்கி மின்னோட்டம் பாயும். உயர்திரவ மட்டத்திலிருந்து தாழ்ந்த திரவ மட்டத்திற்கு நீர் ஓடும்போது வேலை நடைபெறுவதைப்போலவே, உயர் மின்னழுத்த நிலையிலிருந்து, குறைந்த மின்னழுத்த நிலைக்கு மின்னோட்டம் பாயும் போதும் வேலை நடைபெறுகிறது. E–என்ற மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு இடையில் Q-என்ற மின்னூட்டம் செல்லும்போது நடைபெறும் வேலை $W = EQ$ அலகுகள் ஆகும். $Q = 1$ ஆகும்போது $W = 1$ ஆனால் $E = 1$ ஆகும். எனவே ஒரு கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கு இடையே ஒரு செ. கி. செ. அலகு மின்னூட்டம் பாயும்போது நடைபெறும் வேலை ஓர் எர்க் (Erg). ஆனால் அம் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு செ. கி. செ. அலகு ஆகும். மின்னழுத்த வேறு

பாட்டின் நடைமுறை அலகு வோல்ட் (Volt) ஆகும். கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கு இடையே ஒரு கூலூம் மின்னூட்டம் செல்லும் போது நடைபெறும் வேலை ஒரு ஜூல் (Joule) ஆனால் அவ்விரு முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு வோல்ட் ஆகும்.

$$E = \frac{W}{Q}$$

$$\text{ஒரு வோல்ட்} = \frac{\text{ஒரு ஜூல்}}{\text{ஒரு கூலூம்}} = \frac{10^7 \text{ எர்க்குகள்}}{\frac{1}{10} \text{ ம்ச. கி. செ. அலகுகள்}}$$

$$= 10^3 \text{ செ. கி. செ. அலகுகள்.}$$

ஓம் விதி (Ohm's law)

ஒரு கடத்தியினூடே செல்லும் மின்னோட்டத்திற்கும் அதன் இரு முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் உள்ள தொடர்பினை ஜி. எஸ். ஓம் கண்டறிந்தார். அதனால் இஃது ஓம் விதி எனப்படும்.

மாறாத வெப்பநிலையில் ஒரு கடத்தியின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம், அதன் இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

E என்ற மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கீழ் கடத்தி வழியே C என்ற மின்னோட்டம் சென்றால் $\frac{E}{C} = R$ (ஒரு மாறிலி ஆகும்). இங்கு R என்ற மாறிலிக்குக் கடத்தியின் மின்தடை (resistance) என்று பெயர். $R = \frac{E}{C}$ என்பதில் $E = 1$, $C = 1$ ஆனால் $R = 1$ ஆகும். எனவே ஒரு கடத்தி ஒரு செ. கி. செ. அலகு மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கீழ் ஒரு செ. கி. செ. அலகு மின்னோட்டத்தை அதன் வழியே செல்ல அனுமதித்தால் அதன் மின் தடை ஒரு செ. கி. செ. அலகு ஆகும், மின்தடையின் நடைமுறை அலகு "ஓம்" ஆகும். ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கீழ் ஒரு கடத்தி தன் வழியே ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தைச் செல்ல அனுமதித்தால் அதன் மின் தடை ஓர் ஓம் (ohm) ஆகும்.

$$\text{ஓர் ஓம்} = \frac{\text{ஒரு வோல்ட்}}{\text{ஓர் ஆம்பியர்}} = \frac{10^8 \text{ செ. கி. செ. அலகுகள்}}{\frac{1}{10} \text{ செ. கி. செ. அலகு}}$$

$$= 10^9 \text{ செ. கி. செ. அலகுகள்}$$

அனைத்துலக அலகுகள்

இதுவரை வரையறுத்த ஆம்பியர், வோல்ட் மற்றும் ஓம் ஆகிய அலகுகளை மெய் ஆம்பியர், மெய் வோல்ட், மெய் ஓம் என்று கூறுவர். நடைமுறையில் மெய் அலகுகளுக்குப் பெருமளவுக்குச் சரியான, எங்கும் எளிதில் அறியக்கூடிய அலகுகள் அனைத்துலக அலகுகள் எனப்படும். வெள்ளி மின்னாற் பகுகலனில் ஒரு விநாடிக்கு 0·001118 கிராம் வெள்ளியை விடுவிக்கும் மின்னோட்டம் ஓர் அனைத்துலக ஆம்பியர் என அழைக்கப்படுகிறது. இது மெய் ஆம்பியரைவிடச் சற்றுக் குறைவு ஆகும். 0°C வெப்பநிலையில் ஒரு சதுர மி. மீ. குறுக்குப் பரப்பும் 106·3 செ.மீ. நீளமுள்ள பாதரசத் தம்பம் தருகின்ற மின்தடை ஓர் அனைத்துலக ஓம் எனப்படும். இது மெய் ஓம்-ஐ விடச் சற்று அதிகம். இது போன்றே 20°C வெப்ப நிலையில் உள்ள ஒரு வெஸ்டன் மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையில் $\frac{1}{1.0183}$ பங்கு ஓர் அனைத்துலக வோல்ட் எனப்படுகிறது.

மின் தடை எண் (specific resistance)

ஒரு கடத்தியின் மின்தடை அதன் நீளத்திற்கு நேர்விகிதப் பொருத்தமும், குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கு எதிர் விகிதப் பொருத்தமும் உடையது. $R \propto \frac{l}{a}$

$$\therefore \quad R = \rho \frac{l}{a}$$

இங்கு ρ என்பது கடத்தியின் மின் தடை எண் (specific resistance) எனப்படும். இதன் மதிப்பு கடத்தியின் இயல்பினைப் பொருத்தது. $l = 1$ ஆகவும் $a = 1$ ஆகவும் இருக்கும் போது $R = \rho$ ஆகும். எனவே ஒரு மீட்டர் நீளமும் ஒரு சதுர மீட்டர் குறுக்குப் பரப்பும் கொண்ட கடத்தியின் மின்தடை அதன் மின்தடை எண்ணுக்குச் சமம். இதனை ஓம்/மீ^{3} எனக் குறிப்பிடுகிறோம் அல்லது மைக்ரோம்/மீ^{3} எனக் குறிப்பிடுகிறோம்

ஓர் ஓம் = 10^6 மைக்ரோம்.

மின்தடையும் வெப்ப நிலையும்

தூய உலோகங்கள் எல்லாவற்றிலும், வெப்பநிலை உயரும் போது அதன் மின்தடையும் அதிகரிக்கும். மிக உயர்ந்த வெப்ப நிலை மாற்றத்திற்கு உட்படும் மின்தடையின் மதிப்பினை

$R = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$ என்ற சமன்பாட்டினால் குறிப்பிட லாம். இங்கு R மற்றும் R_0 என்பன முறையே $t°C$ மற்றும் $0°C$ ஆகிய வெப்பநிலைகளில் அக்கடத்தியின் மின்தடையைக் குறிக் கின்றன. α, β என்பன கடத்திப் பொருளுக்கு உரிய மாறிலிகள். பிளாட்டினம் என்ற உலோகத்திற்கு $\alpha = 0.003448$ ஆகும். $\beta = -0.000001533$ ஆகும். β மிக மிகச் சிறியது. ஆகையால் குறைவான வெப்பநிலை எல்லையில் அதனை ஒதுக்கி விட்டு $R = R_0 (1 + \alpha t)$ என்றே எழுதலாம். α என்ற மாறிலி மின் தடை வெப்ப நிலை எண் (Temperature Coefficient of resistance) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}$$

ஒரு மின்தடையின் வெப்பநிலையை $0°C$ லிருந்து $1°C$-க்கு உயர்த்தும்போது அதிகரிக்கும் மின் தடைக்கு அவ்வுலோகத்தின் மின்தடை வெப்பநிலை எண் என்று பெயர். பல தூய உலோகங் களுக்கு $\alpha = 0.0037$ லிருந்து 0.004 வரை மாறுகிறது.

R_1 மற்றும் R_2 என்பன t_1 மற்றும் t_2 என்ற வெப்ப நிலைகளில் ஒரு கடத்தியின் மின் தடைகள் என்று கொண்டால்.

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1)$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2)$$

$$\therefore \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

கலவை உலோகங்களின் (alloys) மின்தடையும் வெப்பநிலையுடன் உயர்ந்த போதிலும் இந்த உயர்வு தூய உலோகங்களில் காணப் படும் உயர்வைவிட மிகவும் குறைவாகும். 84% செம்பும் 12% நிக்கலும் 4% மாங்கனீசும் சேர்த்துச் செய்யப்படும் மாங்கனின் (Manganin) என்ற கலவை உலோகம் $0°C$ லிருந்து $35°C$ வரை மிகமிகக் குறைந்த அளவில் அதிகரிப்பதால் படித்தர மின்தடைக் கம்பிகளுக்கு (Standard resistance wires) மாங்கனின் கம்பிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பல உலோகக் கடத்திகளுக்கு $\alpha = 0.0036$ [ஏறக்குறைய வாயுக்களின் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணுக்குச் (Pressure Coefficient) சமம். எனவே கொள்கையளவில் ஒரு மின் தடைக் கம்பி சார்பற்ற சுழி வெப்பநிலையில் வைக்கப்படும்போது அதன் மின்தடையும் சுழியாக வேண்டும். நடைமுறையில் சார்பற்ற சுழி வெப்பநிலையை நெருங்கும்போது கம்பி மிகுகடத்து நிலையை (super conductivity) அடைகிறது.

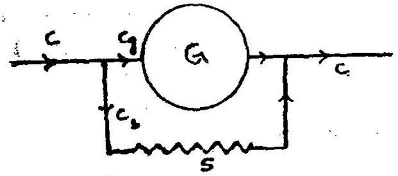
ஒரு கடத்தியின் மின்தடை கடத்தியின் பொருட்டன்மை, மூலகநிலை, நெருக்கம் போன்றவற்றையும் பொருத்திருக்கிறது பொருளின் தூய்மையைப் பொருத்தும் மின்தடை மாறும். பிஸ்மத் தண்டின் மின்தடை காந்தப் புலத்தினால் மாறுதல் அடைகிறது. இப் பண்பினைப் பயன்படுத்திக் காந்தப் புலங்களை அளவிடலாம். செலினியம் என்ற உலோகத்தின் மீது ஒளி விழுந்தால் அதன் மின்தடை குறைகிறது.

மின்தடையின் தலைப்பு மாற்று பின்னம் (reciprocal) கடத்து திறன் (conductance) என்று கூறப்படுகிறது. இதை (mho) என்ற அலகுகளால் குறிப்பிடுகிறோம் இதே போன்று மின்தடை எண்ணின் தலைப்பு மாற்று பின்னத்தைக் கடத்து திறன் எண் என்று கூறுகிறோம். இதனை மோ / மீ^{3} என்று எழுதுகிறோம்.

$$\left.\begin{array}{l}\text{ஒரு கிளையில்}\\ \text{மின்னோட்டம்}\end{array}\right\} = \frac{\text{முதல் மின்னோட்டம்} \times \text{மற்ற கிளையின் தடை}}{\text{இருகிளைகளின் கூட்டுத் தடை}}$$

ஓர் இயங்குச் சுருள் கால்வனா மீட்டரின் (moving coil galvanometer) நுட்பத்தன்மை எண் மதிப்பினை (Figure of merit) அதிகரிக்கவோ அல்லது குறைக்கவோ, அல்லது அதை அதிக மின்னோட்டத்தினின்றும் பாதுகாக்கவோ, கால்வனா மீட்டருடன் இணைச் சுற்றில் ஒரு கணக்கிடப்பட்ட சிறு மின்தடை இணைக்கப்படுகிறது. இதற்குத் தடமாற்றி (shunt) என்று பெயர்.

தகுந்த ஒரு தடமாற்றியின் உதவியால் ஒரு கால்வனா மீட்டரை வேண்டிய உயர் எல்லையுடைய அம்மீட்டராக மாற்ற



படம் 107

லாம், G–மற்றும் S–என்பன கால்வனுமீட்டர் மற்றும் குடமாற்றி ஆகியவற்றின் மின் தடைகள் என்றும் C-என்ற முதல் மின்னோட்டம் G மற்றும் S ஆகியவற்றின் வழியே C_g மற்றும் C_s எனப் பிரிந்து செல்வதாகவும் கொள்வோம்.

$$C_g = \frac{CS}{G+S}$$

$$C_s = \frac{CG}{G+S}$$

முதல் மின்னோட்டம் C-ல் $\frac{1}{n}$ பகுதி கால்வனு மீட்டர் வழியாகச் செல்லவேண்டும் என்றால்

$$\frac{C_g}{C} = \frac{1}{n} = \frac{S}{G+S}$$

$$\therefore \quad nS = G + S$$

$$S = \frac{G}{n-1}$$

முதல் மின்னோட்டத்தில் $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ பகுதி கால்வனுமீட்டரின் வழியே செல்லவேண்டுமானால் தடமாற்றியின் மின்தடை $S = \frac{G}{9}$, $\frac{G}{99}$, $\frac{G}{999}$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

மின்னியக்கு விசையும் மின்கலத்தின் அகமின் தடையும்
(Electro motive force & internal resistance of a cell)

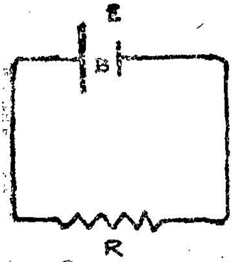
ஒரு மின்கலம் வெளிச்சுற்று மின்தடையுடன் இணைக்கப்படாமல் இருக்கையில் அஃதாவது திறந்த சுற்றில் இருக்கையில் அதன் மின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு அம் மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசை (electro motive force) என்று பெயர். E என்ற மின்னியக்கு விசையுடைய மின்கலத்துடன் R என்ற மின்தடை வெளிச் சுற்றில் இணைக்கப்படுகிறது. மின் கலத்திலுள்ள திரவங்களினால் உண்டாகும் மின்தடைக்கு மின்கலத்தின் அகமின்தடை (internal resistance) என்று பெயர்; அகமின் தடை B என்றால்,

$$\text{மின்னோட்டம்} = \frac{\text{மி. இ. வி.}}{\text{மொத்த மின்தடை}}$$

$$C = \frac{E}{R+B}$$

ஆகவே R என்ற மின்தடையின் இருமுனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு,

$$E_1 = \frac{ER}{R+B}$$



$$E - E_1 = E - \frac{ER}{R+B}$$

$$= E\left[1 - \frac{R}{R+B}\right]$$

$$= \frac{EB}{R+B}$$

படம் 108

இந்த அகமின் தடையாகிய B-ன் முனைகளுக்கு இடையே நிலவி மின்கலத்தின் வழியே மின்னோட்டம் செலுத்த உதவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு ஆகும். இதை மின்கலத்தின் மி. இ. வி. வீழ்ச்சி என்பர். $\frac{ER}{R+B}$ என்பது முடிவுற்ற சுற்றிலுள்ள மின்கலத்தின் மின்முனைகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு (potential difference) என்று பெயர். இதில் $R = \infty$ ஆனால்,

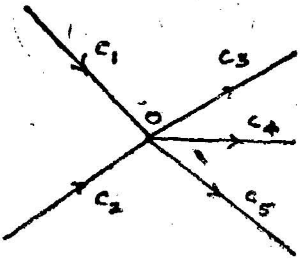
$$\frac{ER}{R+B} = \frac{E}{1+\frac{B}{R}} = E \text{ ஆகும்;}$$

ஒரு மின்கலத்துடன் யாதொரு வெளி மின் தடையும் இணைக்கப்படாதபோது அதன் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள காற்றுத் தடையினை முடிவிலாத்தடை (infinite resistance) எனக் கூறலாம். ஆகவே ஒரு மின்கலத்தின் மி.இ.வி. என்பது அதன் மின்முனைகள் முடிவிலாத் தடையால் மூடப்படும்போது அவற்றிற்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடாகும்.

கிர்ச்சாவ் விதிகள்
(Kirchoff's laws)

(i) கடத்திகளால் ஆகிய ஒரு வலை அமைப்பில் மின்னோட்டம் சீராக இருக்கையில் அவ்வலையின் எந்தச் சந்திப்பிலும் மின்னோட்டங்களின் குறிக்கணக்குக் கூட்டுத்தொகை (algebraic sum) சுழியாகும்.

ஒரு வலை அமைப்பில் O-என்ற புள்ளியில் நுழையும் மின்னோட்டங்கள் C_1, C_2-என்றும், அப்புள்ளியிலிருந்து வெளியேறும் மின்னோட்டங்கள் C_3, C_4, C_5-என்றும் கொள்வோம்.



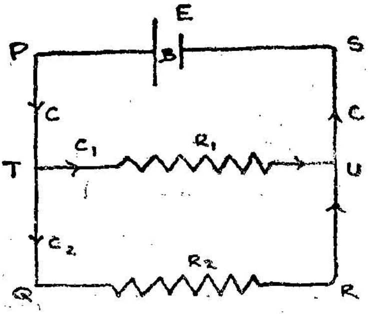
படம் 109

நுழையும் மின்னோட்டங்களுக்கு நேர்க்குறியும் (+), வெளியேறும் மின்னோட்டங்களுக்கு எதிர்க்குறியும் (—) தருவது மரபு. ஆகவே,

$$C_1 + C_2 - C_3 - C_4 - C_5 = O$$
$$\therefore \quad C_1 + C_2 = C_3 + C_4 + C_5$$

ஆகவே சந்திப்பில் நுழையும் மின்னோட்டங்களின் கூட்டுத் தொகை வெளியேறும் மின்னோட்டங்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். எனவே கடத்தியின் எந்தப் புள்ளியிலும் மின்னோட்டம் தேங்கி இருக்க இயலாது என்று உணர்கிறோம்.

(ii) கடத்திகளால் ஆகிய ஒரு வலை அமைப்பில் மின்னோட்டம் சீராக இருக்கும்போது எந்த ஒரு மூடிவுற்ற வலைக் கண்ணியிலும் (closed mesh) உள்ள மின்னியக்கு விசைகளின் குறிக்கணக்குக் கூட்டுத் தொகையும், அவ் வலைக்கண்ணின் புயங்களாகிய கடத்தி



படம் 110

களின் மின்தடை மற்றும் மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகைகளின் குறிக் கணக்குக் கூட்டுத் தொகையும் சமமாகும்.

R_1 மற்றும் R_2-என்ற இரு மின்தடைகளை *E*-என்ற மி.இ.வி.-யும் *B*-என்ற அகத்தடையும் உடைய மின்கலத்துடன் இணைச் சுற்றில் அமைப்போம். முதல் மின்னோட்டம் *C*, மின் தடைகள் R_1 மற்றும் R_2-வழியே முறையே C_1 மற்றும் C_2-ஆகப் பிரிந்து செல்கிறது.

மின்கலம் மற்றும் R_1-ஐ உடைய *PTUS*-என்ற வலைக் கண்ணில்,

$$E = C_1 R_1 + CB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

PQRS-என்ற வலைக் கண்ணில் $E = C_2 R_2 + CB \quad \ldots \quad (2)$

TQRU ,, $O = C_1 R_1 - C_2 R_2 \quad \ldots \quad (3)$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$C_1R_1 + CB = C_2 R_2 + CB$$

$$\therefore \quad C_1 R_1 = C_2 R_2$$

இதே முடிவு சமன்பாடுகள் (3) லிருந்தும் கிடைக்கிறது.

கிர்ச்சாவ் முதல் விதிப்படி *T* என்ற சந்திப்பில்,

$$C = C_1 + C_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$\therefore \quad C_2 = C - C_1$$

$$C_1 R_1 = C_2 R_2 = (C - C_1) R_2$$

$$= CR_2 - C_1 R_2$$

$$C_1 (R_1 + R_2) = CR_2$$

$$C_1 = \frac{C\ R_2}{R_1 + R_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

C_1-ன் மேற்கூறிய மதிப்பினைச் சமன்பாடு (4)-ல் பதிலீடு செய்ய

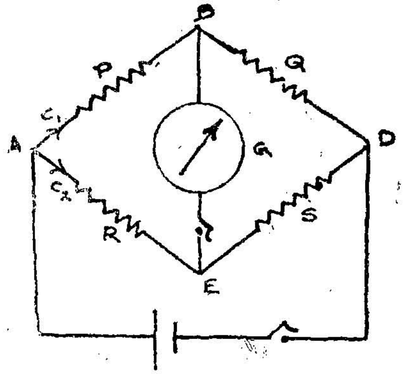
$$C_2 = \frac{C\ R_1}{R_1 + R_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இவ்வாறு கிர்ச்சாவ் விதிகளின்படி, கடத்திகள் இணைப்புச் சுற்றில் அமையும்போது அவற்றில் மின்னோட்டம் பிரிந்து செல்லும் அளவினைக் கணிக்கலாம்.

வீட்ஸ்டோன் வலை அமைப்பு
(Wheatstone's network)

P, Q, R, S என்ற நான்கு மின்தடைகளைப் படத்தில் காட்டிய வாறு அமைத்து வலை அமைப்பு உண்டாக்க வேண்டும்.

B, E என்ற சந்திப்பகளுக்கு இடையே தட்டுசாவி வழியே ஒரு கால்வனு மீட்டரை(*G*)யும், *A, D* என்ற சந்திப்புகளுக் கிடையே மற்றொரு தட்டுசாவி வழியே ஒரு மின்கலத்தையும்



படம் 111

இணைக்க வேண்டும் இவ்வமைப்பு வீட்ஸ்டோன் வலை அமைப்பு (Wheatstone's network) என்று அழைக்கப்படும்.

மின்தடைகளின் மதிப்பினைத் தக்கவாறு மாற்றி அமைத்து இரு தட்டுசாவிகளையும் அழுத்தும்போது கால்வனு மீட்டரின் குறிமுள் (அசையாதவாறு) சுழிநிலையைக் காட்டுமாறு செய்ய வேண்டும். இப்போது கால்வனு மீட்டர் வழியே மின்னோட்டம் பாயவில்லை என அறிகிறோம். ஆகவே *B, E* என்ற சந்திப்புகள்

ஒரே மின்னழுத்த நிலையில் இருக்கவேண்டும் என்று உணர்கிறோம். AB, AE என்ற இரு கிளைகளுக்கும் A பொதுவான முனையாகும். ஆகையால் A, B-க்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும். A, E-க்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும் சமமாகும். மின்கலத்திலிருந்து வரும் முதல் மின்னோட்டம் C கிளை P வழியே C_1 என்றும், கிளை R வழியே C_2 என்றும் பிரிந்து செல்கிறது. கால்வனா மீட்டர் வழியே மின்னோட்டம் செல்லாததால் C_1 என்ற மின்னோட்டம் Q வழியாகவும், C_2 என்ற மின்னோட்டம் S வழியாகவும் சென்று D-ஐ அடைந்து C ஆக வெளிவருகின்றன.

$$AB\text{-க்கு இடையே மி. வே} = AE\text{-க்கு இடையே மி. வே}$$

$$PC_1 = RC_2$$

$$\therefore \frac{C_1}{C_2} = \frac{R}{P} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

இதே போன்று,

$$BD\text{-க்கு இடையே மி. வே} = ED\text{-க்கு இடையே மி. வே.}$$

$$Q\,C_1 = SC_2$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{S}{Q} \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் 1, 2 ஆகியவற்றை ஒப்பிட,

$$\frac{R}{P} = \frac{S}{Q}$$

$$\text{அதாவது,} \quad \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

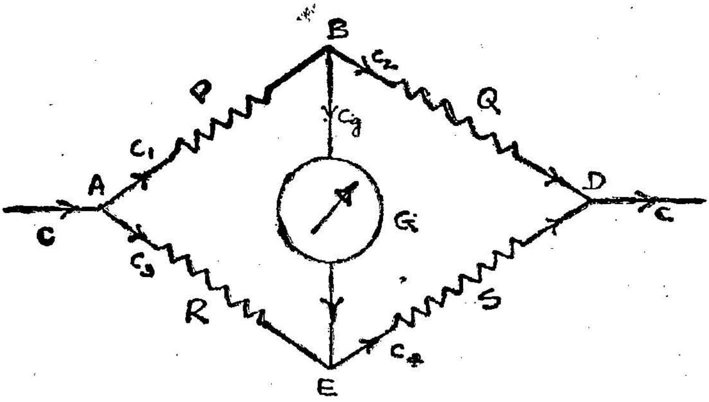
இது வீட்ஸ்டோன் தத்துவம் (Wheatstone's principle) என்று அழைக்கப்படும்.

வீட்ஸ்டோன் வலை அமைப்பும் கிர்ச்சாவ் விதிகளும்

P, Q, R, S, மற்றும் கால்வனா மீட்டர் G ஆகியவற்றின் வழியே முறையே C_1, C_2, C_3, C_4, C_g என்னும் மின்னோட்டங்கள் செல்வதாகக் கொள்வோம்.

B என்ற சந்திப்பில் கிர்ச்சாவ் முதல் விதிப்படி,

$$C_1 - C_2 - C_g = O$$



படம் 112

இவ்வாறே *E* என்ற சந்திப்பில்

$$C_3 + C_g - C_4 = O$$

$C_g = O$ ஆகும்போது,

$$C_1 - C_2 - O = O$$

$$\therefore C_1 = C_2$$

$$C_3 + O - C_4 = O$$

$$C_3 = C_4$$

கிர்ச்சாவ் இரண்டாம் விதியை *ABE*, *BED* என்ற வலைக் கண்ணிகளில் பயன்படுத்த,

$$PC_1 + GC_g - RC_3 = O$$

$$GC_g + SC_4 - QC_2 = O$$

$C_g = O$ ஆகும்போது, $C_1 = C_2$ ஆகும்.

$C_3 = C_4$ ஆகும்.

$$\therefore PC_1 + O - RC_3 = O$$

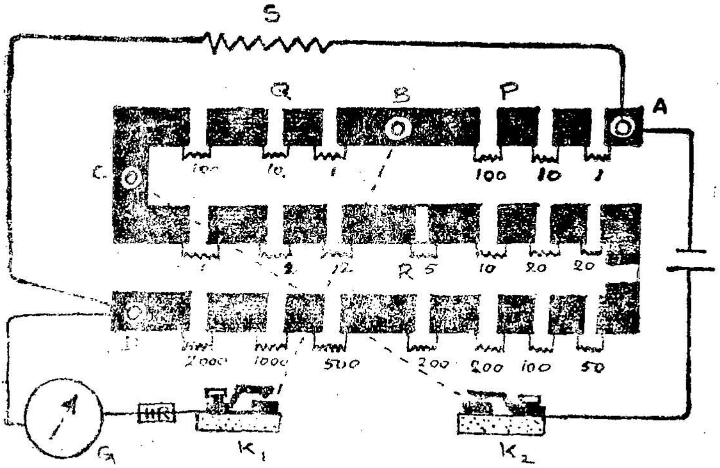
$$PC_1 = RC_3$$

இவ்வாறே $QC_1 = SC_3$ ஆகும்.

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$ ஆகும்.

பி. ஓ. பெட்டி
(Post Office Box)

வசதியான, அடக்கமான, வீட்ஸ்டோன் அமைப்புக்கு பி. ஓ. பெட்டி என்று பெயர். இணையான மூன்று வரிசைகளில் அமைக்கப்பட்டிருக்கும் தடைச் சுருள்கள் வீட்ஸ்டோன் வலை அமைப்பின் P, Q, R-என்ற மூன்று தடைப் புயங்களாகச் செயற்படுகின்றன. தடைச் சுருள்கள் ஒவ்வொன்றும் கூம்புவடிவ இடை



படம் 113

வெளியுடன் கூடிய அடுத்தடுத்துள்ள இரு செப்புக்கட்டைகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒவ்வொரு இடைவெளிக்கும் பொருத்தமான, கூம்புவடிவ, செப்பு அடைப்பான் (plug) உண்டு. அடைப்பானைச் செருகி இடைவெளியை மூடினால் அவ்விடைவெளியில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் மின்தடை அகற்றப்பட்டுவிடும். அடைப்பானை எடுத்து விட்டால் அங்குள்ள மின் தடை சுற்றில் சேர்க்கப்படும். பி. ஓ. பெட்டியின் விகிதபுயங்கள் (ratio arms) என்று கூறப்படும். P மற்றும் Q ஆகியவற்றில் 1, 10, 100, 1000 ஓம் மின்தடைகளும், மாறு மின்தடைப் புயமாகிய R-ல் 1 ஓமிலிருந்து 10000 ஓம்கள் வரை தரக்கூடிய மின்தடைகளும் உள்ளன. AB மற்றும் BC-என்ற புயங்கள்

விகித புயங்களாகும். CD-என்பது மாறு மின்தடைப் புயமாகும். D மற்றும் A-என்ற முனைகளில் உள்ள இணைப்புத் திருகுகளைக் கொண்டு அவற்றிற்கு இடையே, கண்டுபிடிக்கவேண்டிய மின் தடை S இணைக்கப்படுகிறது.

B-யிலிருந்து K_1 என்ற தட்டுசாவிக்கும், C-யிலிருந்து K_2 என்ற தட்டுசாவிக்கும் புள்ளிக் கோட்டால் காட்டியுள்ளவாறு உள் இணைப்பு தரப்பட்டிருக்கிறது. எனவே லெக்லான்சி மின் கலத்தை A-க்கும் C-க்கும் இடையில் தட்டுசாவி வழியே இணைப்பதற்குப் பதில் A-க்கும் K_2-ல் உள்ள திருகு இணைப்பிற்கும் இடையில் லெக்லான்சி மின்கலத்தை இணைத்தால் போதுமானது. அவ்வாறே D என்ற முனைக்கும் K_1-க்கும் இடையே உயர் மின் தடை வழியாகக் கால்வனா மீட்டர் இணைக்கப்படவேண்டும்.

பி. ஓ. பெட்டியைக் கொண்டு ஒரு கம்பியின் மின் தடை வெப்ப நிலை எண் காணல்

மின்தடை வெப்பநிலை எண் காண வேண்டிய கம்பி நன்கு காப்பிடப்பட்டு, இரண்டாக மடிக்கப்பட்டு, தூண்டல் விளைவு அற்ற வகையில் ஒரு மரச்சட்டத்தில் சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. கம்பியின் முனைகளில் திருகு இணைப்புகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இச் சுருள் ஒரு மூக்குக் குவளையில் உள்ள நீரில் அமிழ்த்தி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. நீரின் ஆரம்ப வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொண்டு அப்போது அக் கம்பிக்கு உள்ள மின்தடை அளவினை பி. ஓ. பெட்டியை பயன்படுத்திக் காணவேண்டும். புன்சன் விளக்குக்கொண்டு நீரைச் சூடாக்கவேண்டும். வெப்பநிலை 10°C உயர்ந்தவுடன், கலக்கியால் நீரை நன்கு கலக்கிக் கொண்டே வெப்ப நிலை மாறாமல் செய்து அப்போது கம்பியின் மின்தடையைக் காணவேண்டும். இவ்வாறே 10°C வெப்பநிலை இடைவெளிகளில் கம்பியின் மின்தடையைக் கணக்கிட்டுக் கொண்டே நீரின் கொதிநிலைப் புள்ளிவரை செல்லவேண்டும்.

அக்கம்பி t_1°C, t_2°C என்ற வெப்ப நிலைகளிலிருக்கையில் அதன் மின் தடைகள் முறையே R_1, R_2 என்றால்,

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} \quad \text{ஆகும்.}$$

X அச்சில் வெப்ப நிலையையும் Y அச்சில் மின் தடையையும் எடுத்துக்கொண்டு வரையப்படும் வரைபடம் (graph) நேர்க்

கோடாக இருக்கும். அவ் வரைபடம் Y அச்சை வெட்டும் புள்ளி அக் கம்பி சுழி வெப்ப நிலையில் இருக்கும்போதுள்ள மின்தடை யாகிய R_0–ஐத் தரும். வரைபடத்தைப் பயன்படுத்தி எந்த வெப்ப நிலையிலும் கம்பியின் மின்தடையைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

திடப்பொருள்களின் உருகு நிலை அல்லது திரவப்பொருள்களின் கொதி நிலை காணல்

மேற் கூறிய அதே முறையில் தரூந்த ஒரு கம்பிச் சுருளின் மின்தடையைப் பல்வேறு வெப்ப நிலைகளில் கண்டறிந்து, அக் குறிப்புகளைக் கொண்டு, மின் தடைக்கும் வெப்பநிலைக்குமாக ஒரு வரைபடம் வரைந்து கொள்ளவேண்டும்.

திடப் பொருளின் உருகு நிலை காண்பதற்கு அப் பொருளை ஒரு சிறு குழாயில் அடைத்து அதைச் சுருளை அமிழ்த்தியிருக்கும் அதே திரவத்தில் மூழ்கடித்துத் திரவத்தைச் சூடாக்க வேண்டும்.

சூடாகிக்கொண்டே வரும் திடப் பொருள் உருகுநிலையை அடைந்தவுடன் தெளிந்த திரவமாக மாறும். அப்போது சுருளின் மின்தடையை பி. ஓ. பெட்டியைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிட வேண்டும். பின்னர், புன்சன் விளக்கை நீக்கிவிட, நீர் குளிர்ச்சி யடைய ஆரம்பிக்கும், மீண்டும் திடப்பொருளின் உருகுநிலை வரும்போது தெளிந்த திரவமாக மாறிய திடப்பொருள் உறைந்து கட்டியாக மாறும். அப்போது மீண்டும் சுருளின் மின் தடையைக் கண்டறிய வேண்டும். இவ்விரு மின்தடைகளின் சராசரி, திடப்பொருளின் உருகுநிலையில் சுருளின் மின்தடை யைத் தரும்.

வரைபடத்தில் இந்த மின்தடைக்கு உரிய வெப்பநிலையைக் கண்டறியவேண்டும். அந்த வெப்பநிலை திடப் பொருளின் உருகுநிலை (melting point) ஆகும்.

இதே போன்று தடைச் சுருளைக் கொதிநிலை காண வேண்டிய திரவத்தில் அமிழ்த்தி, அத்திரவம் கொதிக்கும்போது சுருளின் மின் தடையைக் கணக்கிட்டு அறியவேண்டும். வரைபடத்தில் அம் மின்தடைக்குரிய வெப்பநிலை திரவத்தின் கொதிநிலையைத் தரும்.

மின்னழுத்தமானி
(Potentiometer)

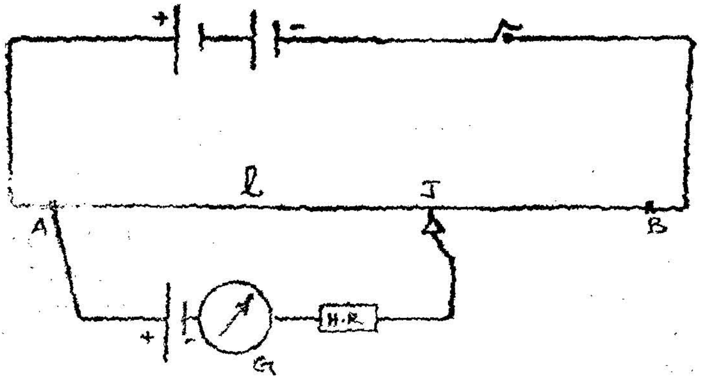
இதில் சீரான, நீண்ட மாங்கனின் கம்பி ஒன்று, ஒவ்வொன்றும் ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ளதும், மரப்பலகை ஒன்றின் மீது பொதியப்பட்டிருக்கும் மீட்டர் அளவு கோல் ஒன்றுக்கு இணையாக பத்து பகுதிகளாக மடித்து மடித்து இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. கம்பியின் நுனிகளில் செப்புப் பட்டை பொருத்தப்பட்டுத் திருகு இணைப்புகள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு முக்கோண வடிவச் சட்டத்தில் 10 தொடுசாவிகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இச் சட்டத்தை மரப்பலகையின் மீது நகர்த்திச் சென்று கம்பியின் எந்தப் புள்ளியையும் தொடு சாவியால் தொடலாம்.

மின்கல அடுக்கின் நேர்முனையை மின்னழுத்தமானிக் கம்பியின் *A* என்ற முனையுடனும், எதிர் முனையை ஒரு தட்டுசாவி வழியே மின்னழுத்தமானிக் கம்பியின் *B* என்ற முனையுடனும் இணைக்கிறோம். இது முதன்மைச் சுற்று (primary circuit) எனப் படும்.

ஒரு மின்கலத்தின் நேர்முனையை மின்னழுத்தமானியின் *A* என்ற முனையுடனும், எதிர் முனையை, ஒரு கால்வனா மீட்டர் உயர் மின்தடை வழியே தொடுசாவியுடனும் இணைக்க வேண்டும். இது துணைச் சுற்று என்று அழைக்கப்படுகிறது.

முதன்மைச் சுற்றிலுள்ள தட்டுசாவியை அழுத்தி மின்னழுத்த மானியின் கம்பி வழியே மின்னோட்டம் பாய்ச்சினால், மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் கம்பியில் சீராகப் பரவி இருக்கும். இந் நிலையில் தொடுசாவியைக் கம்பியில் *J* என்ற இடத்தில் தொட, *A*-க்கும் *J*-க்கும் இடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு உண்டா கும். இம் மின்னழுத்த வேறுபாடு கால்வனா மீட்டர் வழியே *AGJ* என்ற திசையில் ஒரு மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த முயல்கிறது.

அதே சமயத்தில் துணைச்சுற்றிலுள்ள மின்கலத்தில் மின்னியக்கு விசை 1GA என்ற திசையில் ஒரு மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த முயல்கிறது. இவ்விரண்டில் எது வலிமையுடையதோ அந்தத் திசையில் கால்வனா மீட்டரின் குறிமுள் அசையும்.



படம் 114

கால்வனா மீட்டரின் குறிமுள் அசைவு ஏதுமின்றிச் சுழிநிலையில் இருந்தால் A-க்கும் J-க்கும் இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும், மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையும் சமமாகும் என அறியலாம். மின்னழுத்தமானியின் கம்பியில் ஒரு செ.மீ தூரத்திலுள்ள இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு e என்று கொண்டால் l செ.மீ. நீளத்தில் உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு = le ஆகும். எனவே E = le என்று எழுதலாம்.

மின்னழுத்தமானி முறையின் தனிச்சிறப்புகள்

(1) இஃது ஒரு சமநிலை முறை (Null method) ஆகையால் இதில் திருப்பங்களை அளவிடும் முறையில் தவறுகள் ஏற்பட வழியில்லை.

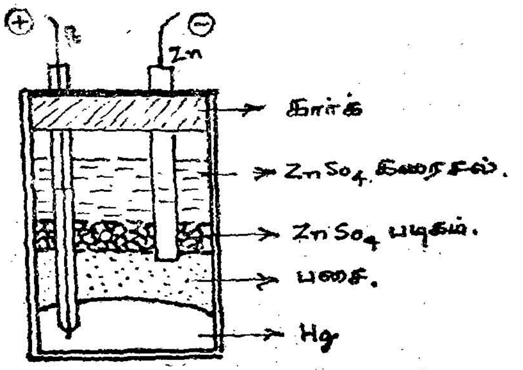
(2) நீளங்களை ஒரு மி.மீ-க்குத் திருத்தமாக அளவிட முடியுமாதலால் இம்முறை அதிக நுட்பத்தன்மை கொண்டதாக இருக்கிறது.

(3) துணைச் சுற்றிலுள்ள மின்கலம், மின்னோட்டம் எதையும் செலுத்தாத நிலையில் இருக்கையில் நடுநிலைப் புள்ளிகள் அளவிடப் படுவதால் மின்கலம் திறந்த சுற்றில் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே, அளவிடும் மி. இ. வி. முற்றிலும் சரியான மதிப்பினைத் தருகிறது.

மின்னியக்கு விசை தெரிந்த மின்கலங்கள் படித்தர மின்கலங்கள் (Standard Cells) என்று வழங்கப்படுகின்றன வெஸ்டன்-காட்மியம் மின்கலம், மற்றும் கிளார்க் மின்கலம் ஆகியவை படித்தர மின்கலங்களாகும் இவைகளைப் பயன்படுத்தி கொடுக்கப்பட்ட மின்கலத்தின் மி.இ.வி-யை அறியலாம்.

(i) கிளார்க் மின்கலம் (Clark cell)

ஒரு சோதனைக் குழாயின் அடிப்பாகத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் சிறிதளவு பாதரசம் நேர் மின் முனையாகச் செயல்படுகிறது. ஒரு மெல்லிய கண்ணாடிக் குழாயின் வழியே சென்று பாதரசத்தைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பிளாட்டினக்கம்பி மின்னிணைப்பு முனையாக இயங்குகிறது. மெர்குரஸ் சல்ஃபேட் மற்றும் தெவிட்டிய துத்தநாகச் சல்ஃபேட் கரைசல் ஆகியவற்றைக் கொண்டு செய்த கெட்டியான பசை பாதரசத்திற்கு மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எதிர்மின் முனையாகச் செயற்படும் ஒரு துத்தநாகத் துண்டின் கீழ்முனை கெட்டியான பசையைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பசைக்கு மேலே துத்தநாகச் சல்ஃபேட் படிகங்களும், துத்தநாக சல்ஃபேட் கரைசலும் நிரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. கண்ணாடிக் குழாய் மற்றும் துத்தநாகத் துண்டு ஆகியவை அசையாதபடி தக்கை வைத்து கெட்டியாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அதற்கு மேலே சோடியம் சிலிகேட் பூசிய கடற்பசையால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இப் மின் கலத்தின் மின்னியக்கு விசை 15°C வெப்ப நிலையில் 1·433



படம் 115

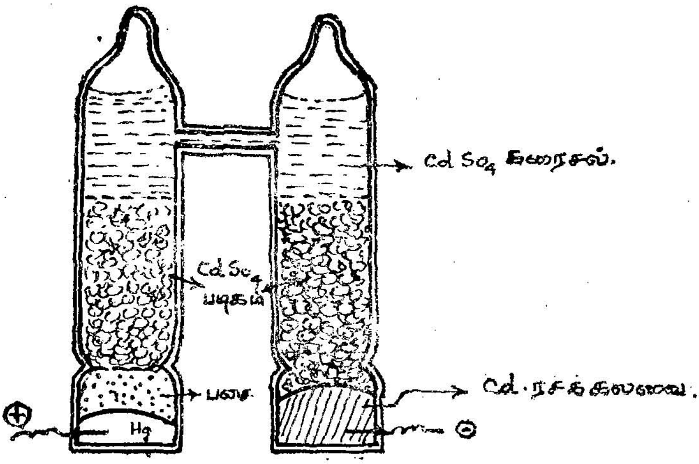
வோல்ட் ஆகும். வெப்ப நிலையைப் பொருத்து அதன் மின்னியக்கு விசையில் ஏற்படும் மாற்றத்தினை,

$$E = 1{\cdot}433 \left[1 - 0{\cdot}00077\ (t-15) \right] \text{ வோல்ட்}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

(ii) வெஸ்டன் காட்மியம் மின்கலம் (Westen Cadmium Cell)

இம் மின்கலத்தின் அமைப்பு படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும். இதில் துத்தநாகத் தண்டிற்குப் பதிலாகக் காட்மிய ரசக் கலவையும் (Cadmium Amalgam) துத்தநாகச் சல்ஃபேட்டிற்குப் பதிலாகக் காட்மிய சல்ஃபேட்டும் பயன்படுத்தபடுகின்றன. இம் மின்கலத்தின் ஒரு பக்கத்தின் அடியில் பாதரசம் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது நேர்மின் முனையாகும். இதற்குமேலே மெர்குரஸ் சல்பேட் மற்றும் காட்மிய சல்ஃபேட் கொண்டு செய்த கெட்டியான பசை இருக்கிறது. அதற்குமேலே காட்மியம் சல்ஃபேட் படிகங்களும் அதற்குமேலே காட்மிய சல்பேட் கரைசலும் இருக்கின்றன. மறுபக்கத்தில் அடியில் காட்மிய ரசக் கலவை உள்ளது. இஃது எதிர் மின் முனையாகச் செயற்படுகிறது. இதற்கு மேலே காட்மிய சல்ஃபேட் படிகங்களும். காட்மிய சல்பேட் கரைசலும் இருக்கின்றன. இம் மின்கலம் 20°C வெப்ப நிலையில் இருக்கையில் இதன் மின்னியக்குவிசை 1·0183 வோல்ட்டுகள் ஆகும். வெப்பநிலையுடன் மாறுகின்ற இதன் மின்னியக்கு-



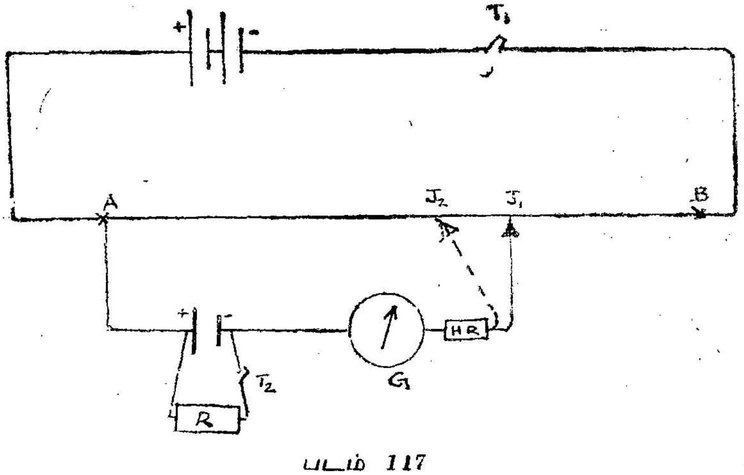
படம் 116

விசையினை $E = 1{\cdot}0183 - \left[4{\cdot}60 \times 10^{-5} (t - 20) \right]$ என்ற சமன்பாட்டைக் கொண்டு குறிப்பிடுகிறோம். இங்கு E என்பது t என்ற வெப்ப நிலையில் அம் மின் கலத்தின் மி. இ.வி–ஐக் குறிக்கும்.

மின்னழுத்தமானியைக் கொண்டு ஒரு மின்கலத்தின் அகமின் தடை காணல்

AB–என்ற மின்னழுத்தமானிக் கம்பியின் முனைகள், தட்டு சாவி (Tap key) ஒன்றின் (T_1) வழியே மின்கல அடுக்குடன் இணைக்கப்படுகின்றன. *A*–என்ற முனை மின்கல அடுக்கின் நேர் முனையுடனும் *B*-என்ற முனை எதிர்முனையுடனும் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. துணைச்சுற்றில் அகமின்தடை காணவேண்டிய மின் கலத்தின் நேர்முனை *A*–யுடனும், எதிர்முனை ஒரு கால்வனு மீட்டர் உயர்மின் தடை ஆகியவற்றின் வழியே தொடுசாவி (Jockey) யுடனும் இணைக்கப்படுகின்றன. மின் கலத்திற்கு இணையாக ஒரு மின்தடைப் பெட்டி (*R*) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அச் சுற்றில் ஒரு தட்டு சாவி (T_2) யும் உண்டு.

T_1–என்ற தொடு சாவியை அழுத்தி முதன்மைச் சுற்றில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சிய பின்பு தொடு சாவியை *A* மற்றும் *B* என்ற முனைகளில் தொட்டு, இணைப்புகளைச் சரிபார்க்கவேண்டும். T_2 திறந்த நிலையில் இருக்கையில் உயர்மின்தடை கால்வனு மீட்டர்ச் சுற்றில் இருக்கத் தோராய சமநிலைப் புள்ளியைக் காண வேண்டும் பின்பு உயர்மின் தடையை நீக்கிவிட்டுத் துல்லியமான



படம் 117

சமநிலைப்புள்ளி J_1-ஐக் கண்டறியவேண்டும். $AJ_1 = l_0$ என்றால், $E = l_0 e$ ஆகும். இங்கு e—என்பது ஒரு சென்டிமீட்டரில் காணப்படும் மின்னழுத்த இழப்பு ஆகும். R—என்ற மின் தடைப் பெட்டியில் R—என்ற மின் தடையை ஏற்படுத்தி T_2 என்ற தட்டு சாவியை அழுத்திக்கொண்டு மீண்டும் சமநிலைப் புள்ளியைக் காணவேண்டும். இச்சமநிலைப்புள்ளி J_2 என்றும் $AJ_2 = l_1$ என்றும் கொள்வோம். B-என்பது மின்கலத்தின் அகமின் தடை என்றால் R-என்ற மின்தடையின் முனைகளுக்கிடையே காணப் படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு $= \frac{ER}{R+B}$ வோல்ட் ஆகும். இதனை l_1 செ. மீ. நீளக் கம்பி சமநிலைப்படுத்துகிறது. எனவே,

$$\frac{ER}{R+B} = l_1\, e$$

$$\frac{E}{\frac{ER}{R+B}} = \frac{l_0\, e}{l_1\, e}$$

$$= \frac{l_0}{l_1}$$

$$\frac{R+B}{R} = \frac{l_0}{l_1}$$

$$\frac{B}{R} = \frac{l_0}{l_1} - 1$$

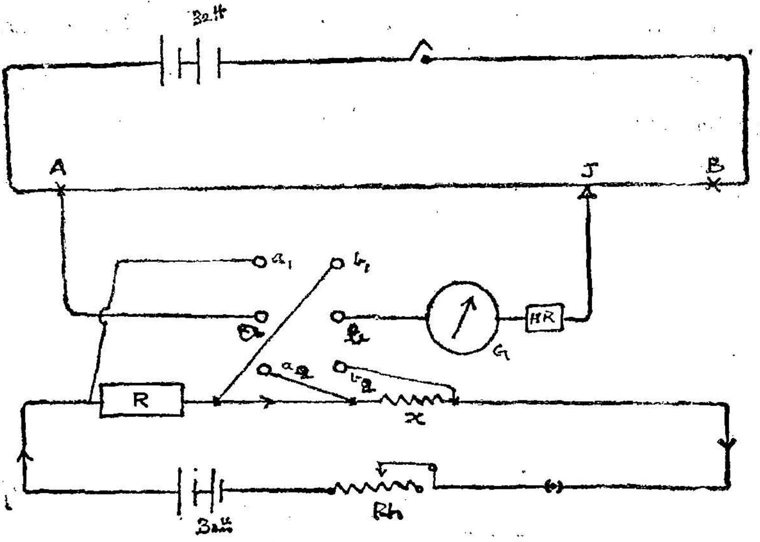
$$B = R\left(\frac{l_0 - l_1}{l_1}\right)$$

R-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்குச் சோதனையை மீண்டும் மீண்டும் செய்து ஒவ்வொரு முறையும் B-ன் மதிப்பினை அறியலாம். ஒரு மின்கலத்தின் அகமின் தடை என்பது மாறாத ஒன்றன்று. மின்கலத்தின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும்போது அதன் மதிப்பு குறையும்.

மின் தடையைக் கண்டறிதல்

மின்னழுத்தமானியின் கம்பி AB, அதன் A நேர் முனையாகவும், B எதிர் முனையாகவும் இருக்கும்படி ஒரு மின்கல அடுக்குடன் தட்டுசாவி வழியே இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு மின்கல அடுக்கு, தடைமாற்றி, தட்டுசாவி, தடைப் பெட்டி R,

கண்டறிய வேண்டிய மின்தடை x ஆகியவை வேறொரு தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தடைமாற்றியின் குறிப்பிட்ட நிலையில் R மற்றும் x ஆகிய மின்தடைகளின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் சமமாகும். அப்போது R-என்ற மின்தடையின் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டுடன், x-ன் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை ஒப்பிடலாம்.



படம் 118

இதற்காக ஆறுமுனைச் சாவி என்ற இருவழிச் சாவியொன்று உபயோகிக்கப்படுகிறது. நடுவில் உள்ள இருகுமுனைகள் a-யும் b-யும் முறையே நேர்மின் முனை A-யுடனும், கால்வனு மீட்டர் உயர்மின்தடை ஆகியவற்றின் வழியே தொடுசாவியுடனும் இணைக்கப்படுகின்றன. R, x-என்ற மின்தடைகளில் மின்னோட்டம் நுழையும் முனைகளை நேர்முனைகள் என்றும், வெளியேறும் முனைகளை எதிர்முனைகள் என்றும் கூறுவர். R மற்றும் x-ன் நேர் முனைகள் a_1, a_2 என்ற இருகு முனைகளுடனும், எதிர் முனைகள் b_1, b_2 என்ற இருகு முனைகளுடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

a_1 என்ற முனை a-யுடனும், b_1 என்ற முனை b-யுடனும் ஆடித் தொடுகோலால் இணைக்கப்பட்டால் R-என்ற மின்தடையின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மி. வே. கால்வனு மீட்டர்ச் சுற்றில் வரும். அதுபோலவே a_2 மற்றும் b_2 ஆகியவற்றை

a மற்றும் b யுடன் இணைக்க x–ன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மி. வே. கால்வனு மீட்டர்ச் சுற்றில் வரும்.

R–ல் 5 அல்லது 10 ஓம்கள் மின்தடையை ஏற்படுத்தி, இணைப்புகளைச் சரிபார்த்த பிறகு R-ன் முனைகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினைச் சமநிலைப்படுத்தும் நீளம் l_1–ஐக் காணவேண்டும். மின்னோட்டம் C-என்றால் R–ன் முனைகளுக்கிடையே நிலவும் மி. வே. $= RC$ ஆகும். இது l_1-என்ற நீளத்தில் சமநிலைப் படுத்தப்படுவதால்,

$$RC = l_1 \, e \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1)$$

இவ்வாறே x என்ற மின்தடையைக் கால்வனு மீட்டர்ச் சுற்றில் கொண்டுவந்து அதன் முனைகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடாகிய xC-ஐச் சமநிலைப்படுத்தும் நீளம் l_2-ஐக் காணவேண்டும்.

$$xC = l_2 \, e \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\frac{x}{R} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\therefore \quad x = \frac{R\, l_2}{l_1}$$

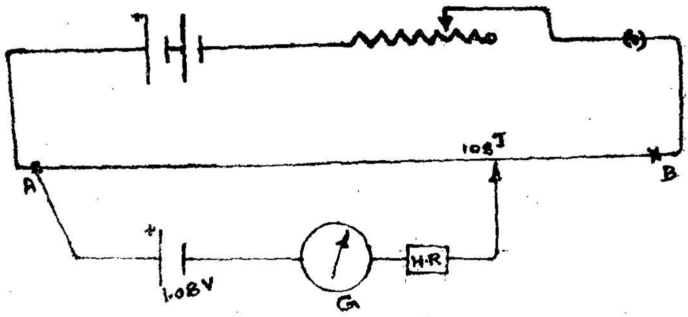
இவ்வாறு கண்ட x–ன் மதிப்பு தோராயமதிப்பே ஆகும். துல்லியமான மதிப்புக்கு x–ம் R ம் ஏறக்குறையச் சமமாக இருக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக மேற்கூறியவாறு கண்ட x-ன் தோராய மின்தடை 5·8 ஓம்கள் என்போம். இப்போது R–ன் மதிப்பினை 5·8-க்கு அடுத்த முழு எண் ஆகிய 6-ஓம்கள் மின் தடையாகச் செய்து, மீண்டும் சோதனையை நடத்தவேண்டும். இப்போது பெற்ற x–மதிப்பு முற்றிலும் சரியானது ஆகும். R-ன் மதிப்பினை அப்படியே வைத்துக் கொண்டு, துணைச்சுற்றிலுள்ள மின் தடை மாற்றியை வெவ்வேறு நிலைகளில் வைத்து, அச்சுற்றில் வெவ்வேறு மின்னோட்டங்களை ஓடச்செய்து மீண்டும் மீண்டும் x-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்

வோல்ட் மீட்டரை அளவீடு செய்தல் (Calibration of Voltmeter)

வோல்ட் மீட்டரை அளவீடு செய்வதற்கு மின்னழுத்த மானியின் கம்பியில் ஒரு சென்டி மீட்டருக்குக் குறிப்பிட்ட மின்ன

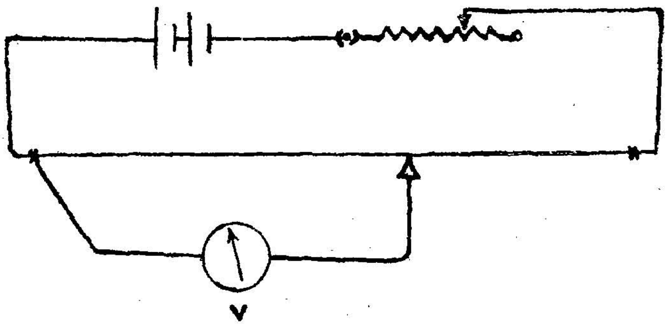
மூத்த வீழ்ச்சி (known fall of potential) ஏற்படுமாறு செய்து கொள்ள வேண்டும்.

முதன்மைச் சுற்றில் *AB* என்ற மின்னழுத்தமானி கம்பியுடன் மின்கல அடுக்கு, தட்டுசாவி, மின்தடைமாற்றி ஆகியவை தொடர்ச்சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. துணைச்சுற்றிலுள்ள டேனியல் மின்கலத்தின் நேர்முனை *A* யுடனும். எதிர்முனை கால்வனு மீட்டர், உயர் மின்தடை ஆகியவற்றின் வழியே தொடு சாவியுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தொடுசாவியை *A*, *B* என்ற முனைகளில் அழுத்தி இணைப்புகளைச் சரிபார்த்த பின்பு சோதனையைத் தொடங்க வேண்டும்.



படம் 119

மின்னழுத்தமானிக் கம்பியில், செ.மீ.-க்கு ·01 வோல்ட் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி ஏற்படச் செய்ய வேண்டுமென்று வைத்துக் கொள்வோம். இதற்குப் புதிதாகத் தயாரிக்கப்பட்ட டேனியல் மின்கலம் ஒன்று வேண்டும். தொடுசாவியை *A*-யிலிருந்து சரியாக



படம் 120

108-ஆவது செண்டிமீட்டரில் அழுத்திக்கொண்டு முதன்மைச் சுற்றில் உள்ள மின் தடை மாற்றியைச் சீர் செய்து கால்வனு மீட்டரில் குறிமுள் சுழியளவு காட்டுமாறு செய்யவேண்டும். இப்போது டேனியல் மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையும் மின்னழுத்தமானி கம்பியில் 108 செ. மீ. நீளத்தில் வீழ்ச்சியுற்ற மின்னழுத்த வேறுபாடும் சமமாகும்.

108 செ.மீ. வீழ்ச்சியுற்ற மி.வே. = 1·08 வோல்ட்

$$1 \text{ செ.மீ.} \quad ,, \quad ,, = \frac{1 \cdot 08}{108}$$

$$= \cdot 01 \text{ வோல்ட்}$$

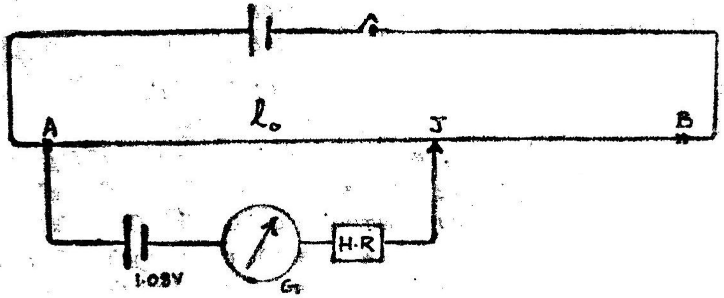
டேனியல் மின்கலம், கால்வனு மீட்டர், உயர் மின்தடை ஆகியவற்றைக் கொண்ட துணைச் சுற்றினை முற்றிலும் நீக்கிவிட்டு அளவிடு செய்யவேண்டிய வோல்ட் மீட்டரின் நேர்முனையை A-யுடனும், எதிர் முனையைத் தொடுசாவியுடனும் இணைக்க வேண்டும், முதன்மைச் சுற்றில் எந்தவித மாற்றமும் செய்யக் கூடாது என்பதை நினைவில் வைத்துக்கொள்ளவேண்டும். தொடுசாவியை மின்னழுத்தமானியின் கம்பியின் மீது நகர்த்திச் சென்று வோல்ட் மீட்டரில் குறிமுள் ஒரு பிரிவு காட்டுமாறு செய்ய வேண்டும். இப்போது A-யிலிருந்து தொடுசாவியின் தூரம் l_1 என்றால் வோல்ட் மீட்டரில் ஒரு பிரிவுக்கு உரிய மின்னழுத்தம் $l_1 \times \cdot 01$ வோல்ட் ஆகும். இவ்வாறே குறிமுள் 2, 3, 4......... என்ற பிரிவுகளைக் காட்டும்போது A-யிலிருந்து தொடுசாவியின் தூரம் முறையே l_2, l_3, l_4......என்றால் அவற்றிற்குரிய மின்னழுத்தங்கள் $l_2 \times \cdot 01$, $l_3 \times \cdot 01$, $l_4 \times \cdot 01$...... வோல்ட்கள் ஆகும் என அறியலாம்.

பிரிவுகளின் எண்ணிக்கையை X அச்சிலும் அவற்றிற்குரிய மின்னழுத்தங்களை Y அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு வரையப்படும் வரைபடத்திற்கு அளவீட்டு வரைபடம் (Calibration graph) என்று பெயர். இவ் வரைபடத்தைக்கொண்டு வோல்ட் மீட்டரின் எந்தப் பிரிவுக்கும் உரிய வோல்ட்டை அறியலாம்.

மின்னோட்டத்தை அளத்தலும் அம்மீட்டரை அளவிடு செய்தலும்

AB என்ற மின்னழுத்தமானிக் கம்பியில் A என்ற முனை நேர் முனையாகவும், B எதிர் முனையாகவும் இருக்குமாறு, ஒரு மின்கல அடுக்குடன், தட்டுசாவி வழியே இணைக்கப்படுகின்றன. இது

முதன்மைச் சுற்று ஆகும். துணைச் சுற்றிலுள்ள டேனியல் மின் கலத்தின் நேர்முனை A-யுடனும் எதிர்முனை, கால்வனு மீட்டர், உயர்மின்தடை ஆகியவற்றின் வழியே தொடுசாவியுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. டேனியல் மின்கலத்தின் மி.இ.விசையாகிய 1·08 வோல்ட்டை சமநிலைப் படுத்தும் நீளத்தைக் கண்டறியவேண்டும். அது l_0 என்போம். முதலில் உயர்மின் தடையுடன் தோராயமாகவும், பின் அதை நீக்கிவிட்டுத் துல்லியமாகவும் நடுநிலைப் புள்ளியைக் காணவேண்டும்.



படம் 121

l_0 செ. மீட்டரில் 1·08 வோல்ட் விழ்ச்சியுறுகிறது.

$\therefore$ 1 செ. மீட்டரில் $\dfrac{1 \cdot 08}{l_0}$ வோல்ட் வீழ்ச்சியுறுகிறது.

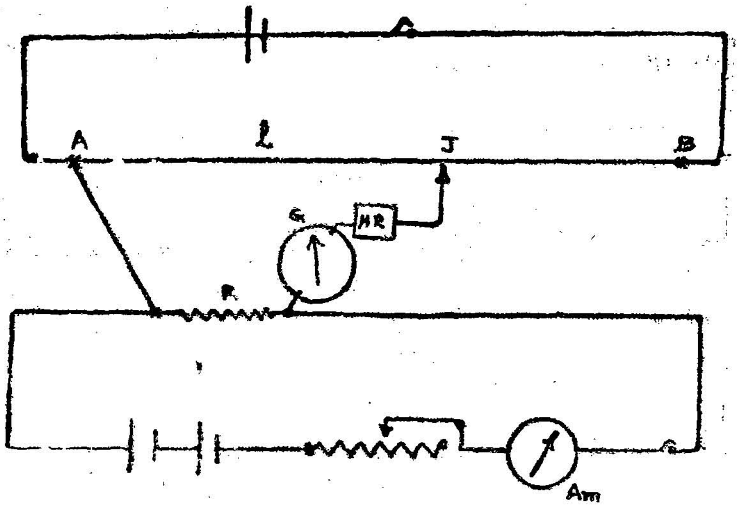
இது சோதனையின் முற்பகுதியாகும்.

இன்னொரு சுற்றில் மின்கல அடுக்கு, தெரிந்த ஒரு மின்தடை (R), அளவிடு செய்ய வேண்டிய அம்மீட்டர், மின்தடை மாற்றி தட்டுசாவி ஆகியவற்றைத் தொடர் இணைப்பில் சேர்க்கவேண்டும். மின்தடை R-ன் நேர்முனையை மின்னழுத்தமானியின் A முனையுடனும், எதிர்முனையைக் கால்வனு மீட்டர், உயர்மின்தடை வழியே தொடுசாவியுடனும் இணைக்கவேண்டும். தடைமாற்றியைச் சீர் செய்து அம்மீட்டர் குறிமுள் ஒரு பிரிவு காட்டுமாறு செய்ய வேண்டும். அப்போதுள்ள மின்னோட்டம் C என்றால் R-ன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு RC ஆகும். இம் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினைச் சமநிலைப் படுத்தும் நீளத்தைக் கண்டறியவேண்டும். அந் நீளம் l என்றால்,

$$RC = \frac{l \times 1 \cdot 08}{l_0} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore C = \frac{l\,(1 \cdot 08)}{R\,l_0} \text{ ஆம்பியர் ஆகும்.}$$

அம்மீட்டர் குறிமுள் 2, 3, 4....................என்ற பிரிவுகளைக் காட்டுமாறு தடைமாற்றியைச் சீர் செய்து ஒவ்வொரு முறையும் மின்னழுத்தமானிக் கம்பியில் சமநிலைப்படுத்தும் நீளங்களைக் கண்டறியவேண்டும். அவற்றிலிருந்து, அம்மீட்டரில் குறிமுள் காட்டும் பிரிவுகளுக்கு உரிய மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட



படம் 122

வேண்டும், அம்மீட்டர்ப் பிரிவுகளை x அச்சிலும், அவற்றிற்குரிய மின்னோட்டங்களை y அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு வரையப் படும் வரைபடம் அம்மீட்டர் அளவீட்டு வரைபடம் (ammeter calibration curve) எனப்படும். இதிலிருந்து அம்மீட்டரின் எந்தப் பிரிவுக்கும் உரிய மின்னோட்ட அளவினைப் பெறலாம்.

காந்தவியல்
(MAGNETISM)

காந்தவியல்
(Magnetism)
அறிமுகம்

நீண்ட காலத்திற்கு முன்னால் ஆசியா மைனரில், மெக்னீஷியா (magnesia) என்னுமிடத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மாக்னடைட் (Fe_3O_4) என்னும் இரும்புக்கனி, சில புதுவகையான பண்புகள் கொண்டிருப்பது தெரிந்தது. அஃது இரும்புத்தூள், சிறு ஆணிகள் போன்றவற்றை ஈர்க்கும் குணம் கொண்டிருந்தது; இதை ஈர்க்கும் பண்பு (attractive property) என்பர். இந்த இரும்புக்கனியின் துண்டு ஒன்றை நூலில் கட்டித் தொங்க விட்டால் அதன் குறிப்பிட்ட ஒரு முனை எப்போதும் வடக்குத் திசையைக் காட்டி நிற்பது அறியப்பட்டது, இதைத் திசை காட்டும் பண்பு (directive property) என்பர்.

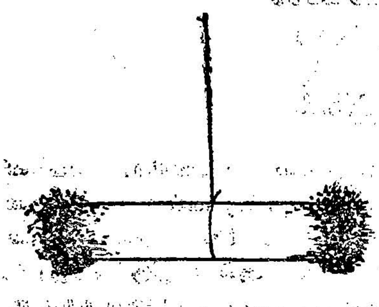
இத்தகைய இரும்புக்கனி (ore) யின் மேற்கண்ட பண்புகளைப் பண்டைய சீன, தமிழக, ரோமானிய மாலுமிகள் அறிந்திருந்தார்கள் என்றும் அத்தகைய இரும்புக்கனியைக் கொண்டு நடுக்கடலில் திசையறிந்து கலம் செலுத்தினர் என்றும் வரலாறுகள் கூறுகின்றன. எனவே இந்த இரும்புக்கனி 'வழி காட்டும் கல்' (lode stone = leading stone) என்று அழைக்கப்பட்டது.

'வழிகாட்டும் கல்' ஓர் இயற்கைக் காந்தமாகும். செயற்கையாகத் தண்டு வடிவிலும், இலாட வடிவிலும், ஊசி வடிவிலும், பந்து முனை கொண்ட கம்பி வடிவிலும் காந்தங்கள் செய்யப்படுகின்றன.

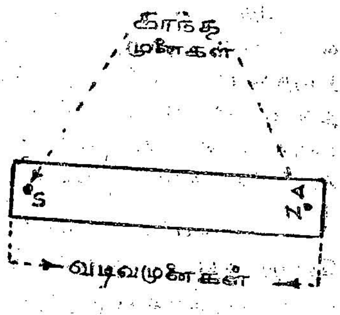
காந்தத்தால் ஈர்க்கப்படும் பொருள்கள் காந்தப் பொருள்கள் (magnetic substances) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. நாம் அறிந்தவற்றுள் இரும்பு, முதல் தர காந்தப் பொருளாகவும், கோபால்ட் (cobalt) அதற்கு அடுத்த நிலையிலும், நிக்கல் அதற்கு

அடுத்த நிலையிலும் உள்ள காந்தப் பொருள்களாகும். சில இரும்பு ஆக்சைடுகளும், சல்பைடுகளும், கலவை உலோகங்களும் (alloys) காந்தப் பொருள்களாக இருக்கின்றன.

ஒரு காந்தக்கட்டையை இரும்புத் தூள் குவியலில் அமிழ்த்திப் பின் வெளியே எடுத்தால் படத்தில் காட்டியவாறு இரும்புத் தூள் கொத்துக்கொத்தாக அதன் இரு முனைகளிலும் மட்டும் அதிகமாக ஒட்டிக் கொண்டிருப்பதையும், அதன் மையத்தில் இரும்புத்தூள் ஒட்டிக் கொள்ளாமலிருப்பதையும் காணலாம். இதிலிருந்து காந்தத்தின் ஈர்க்கும் பண்பு அதன் இரு முனைகளுக்கு அருகே உள்ள புள்ளிகளில் குவிந்திருப்பதை உணரலாம். காந்தத்தின் பண்புகள் செறிந்துள்ள அப் புள்ளிகள் காந்த முனைகள் (poles) என்றழைக்கப்படுகின்றன. மேற் கூறிய காந்த முனைகள் காந்தக் கட்டைகளின் வடிவ முனைகளுக்குச் சற்று உள்ளே தள்ளி அமைந்திருக்கின்றன என்பதை நினைவில் வைக்கவேண்டும், காந்த முனைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் காந்த நீளம் (magnetic length) என்றும் வடிவ முனைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் வடிவ நீளம் (geometric length) என்றும் கூறப்படுகின்றன. காந்த முனைகளின் வழியே செல்லும் நேர்க்கோடு காந்த அச்சு என்றும் காந்த நீளத்திற்கு வரையப்படும் மையக் குத்துக்கோடு காந்த நடுக் கோடு (equatorial line of magnet) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.



படம் 123



படம் 124

காந்தக் கட்டை ஒன்றை முறுக்கற்ற நூலில் கட்டித் தொங்க விட்டால் அஃது ஆடி ஓய்ந்து ஏறக் குறைய பூமியின் வடக்கு–தெற்குத் திசையில் நிற்பதைக் காணலாம். வடக்குத் திசையை நோக்கி நிற்கும் முனை காந்த வடமுனை (magnetic north pole) என்றும், தெற்குத் திசையை நோக்கி நிற்கும் முனை காந்தத் தென்முனை (magnetic south pole) என்றும் பெயர் பெறுகின்றன. வட

முனையை நேர்வகை முனை என்றும் (+) தென்முனையை எதிர்வகை முனை என்றும் (—) கொள்வது மரபு.

பூமி ஒரு பெரிய காந்தம் என்பதையும் அதன் வடமுனை புவியியல் தென்முனைக்கு (geographical south pole) அருகிலும், அதன் தென்முனை புவியியல் வடமுனைக்கு அருகிலும் இருக்கின்றன என்பதை பின்னர் அறிவோம். பூமி காந்தத்தின் தென்முனை, வடமுனை, மற்றும் பூமியின் மீது நாம் இருக்கும் புள்ளி ஆகிய மூன்றின் வழியே செல்லும் தளம் அவ்விடத்தின் காந்தத் துருவ தளம் (magnetic meridian) என்றழைக்கப்படுகிறது.

ஈர்ப்பும் எதிர்ப்பும்

ஒரியல்பு முனைகள் ஒன்றை ஒன்று எதிர்க்கின்றன, எதிரிடையான முனைகள் ஒன்றை ஒன்று ஈர்க்கின்றன.

அஃதாவது ஒரு காந்த வடமுனை மற்றொரு காந்த வடமுனையை எதிர்த்துத் தள்ளும் அல்லது விரட்டும். ஆனால் ஒரு வடமுனை மற்றொரு தென்முனையை ஈர்க்கும் அல்லது இழுக்கும். இதே போன்று ஒரு தென்முனை மற்றொரு தென்முனையை விரட்டும்; ஆனல் வடமுனையை ஈர்க்கும்.

தொங்கவிடப்பட்ட காந்தக் கட்டை தெற்கு வடக்காக நிற்பது ஏன் ?

புவியியல் வடமுனைக்கு அருகில் உள்ள பூமி காந்தத்தின் தென்முனை, தொங்கும் காந்த வடமுனையையும், புவியியல் தென்முனைக்கு அருகில் உள்ள பூமி காந்தத்தின் வடமுனை, தொங்கும் காந்தத்தின் தென்முனையையும் ஈர்ப்பதால் தொங்கும் காந்தம் இறுதியாகப் பூமியின் காந்தத்தளத்தில் தெற்கு வடக்காக நிற்கிறது. எனவேதான் தொங்கும் காந்தத்தின் வடமுனை புவியியல் வடமுனையை (வட திசையை) நோக்கியும், தென்முனை புவியியல் தென்முனையை (தெற்கு திசை) நோக்கியும் நிற்கின்றன.

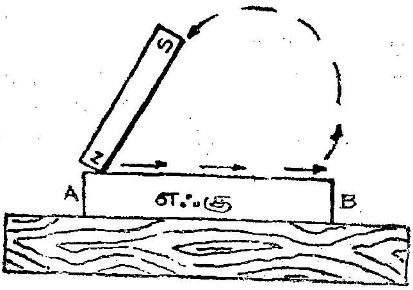
காந்தம் செய்தல்

தேனிரும்பு அல்லது எஃகுத் துண்டுகளைத் தேய்ப்பு முறை (touch method) அல்லது மின்சார முறையில் காந்தங்களாக மாற்றலாம். தேய்ப்பு முறையில் இரு வகைகள் உண்டு.

(i) ஒற்றைத் தேய்ப்பு முறை (ii) இரட்டைத் தேய்ப்பு முறை

(i) ஒற்றைத் தேய்ப்பு முறை

AB என்னும் எஃகுத்துண்டு ஒன்றை மரப்பலகையின் மீது வைத்துக் கட்டைக் காந்தம் ஒன்றை அதன் வடமுனை *A*-ஐத் தொடுமாறு கையில் பிடித்துக்கொள்ளவேண்டும், எஃகுத் துண்டைத் தேய்த்தவாறு கட்டைக் காந்த வடமுனையை *B*-ஐ நோக்கி இழுக்க வேண்டும், *B*-யை அடைந்தவுடன் படத்திற் காட்டியவாறு வடமுனையை மேலே தூக்கி மறுபடியும் *A*-க்குக் கொண்டு வந்து தேய்த்தவாறு *B*-யை நோக்கி நகர்த்த வேண்டும்.



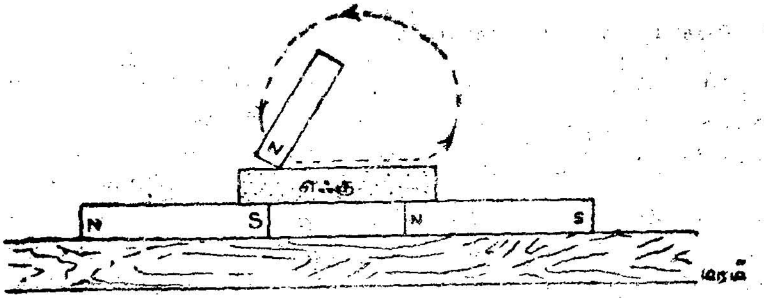
படம் 125

இவ்வாறே பலமுறை செய்ய எஃகுத் துண்டின் *A* முனையில் வடமுனையும் *B* முனையில் தென்முனையும் கொண்ட கட்டைக் காந்தம் தயாராகிவிடும். இதைப்போலவே *A*-யில் தென் முனையை வைத்துத் தேய்ப்பினைத் தொடங்கினால் *A*-யில் தென் முனையும் *B*-ல் வடமுனையையும் கொண்ட கட்டைக் காந்தம் தயாராகிவிடும்.

இரட்டைத் தேய்ப்பு முறை

இம் முறையில் காந்தமாக்கப்பட வேண்டிய *AB* என்ற எஃகுத்துண்டு, மேசை ஒன்றன்மீது வைக்கப்பட்டிருக்கும். இரு கட்டைக் காந்தங்களின் வடமுனையின் மீது *A*யும் தென்முனைமீது *B*யும் படியுமாறு வைக்கப்படுகிறது. (படம் 126) பின்னர் வேறு இரு கட்டைக்காந்தங்களின் எதிரெதிர் முனைகளைப் படத்தில் காட்டியவாறு கீழ்நோக்கிப் பிடித்தவாறு எஃகுத்துண்டின் மையத்தில் வைத்து முதற் கட்டைக்காந்தத் தென்முனையை *A*-ஐ நோக்கியும், மற்ற கட்டைக்காந்த வடமுனையை *B*-ஐ நோக்கியும் எஃகுத் துண்டைத் தேய்த்தவாறு இழுக்கவேண்டும். எஃகுத்

துண்டின் முனையை அடைந்தவுடன் கையிலுள்ள காந்தங்களை மேலே தூக்கி மறுபடியும் மையத்திற்குக் கொண்டு வந்து எஃகுத்



படம் 126

துண்டைத் தேய்த்தவாறு முன்போலவே இழுக்கவேண்டும். இது போலப் பலமுறை செய்ய *AB* என்னும் எஃகுத்துண்டு வலிமை மிக்க காந்தக்கட்டையாகும். மேலும் *A* என்பது தென்முனையாக வும் *B* என்பது வடமுனையாகவும் இருக்கக் காணலாம்.

மின்சார முறை

காந்தமாக்கப்பட வேண்டிய உலோகத்துண்டின்மீது காப் பிட்ட கம்பியைச் சுற்றி அதன் வழியே ஒரு திசை மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சினால் உலோகத்துண்டு மிக வலிமை வாய்ந்த காந்தமாக மாறும்.

உலோகத் துண்டு தேனிரும்பாக இருப்பின் மின்சாரம் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும் வரையில்தான் அதில் காந்த ஆற்றல் காணப்படும். மின்சாரம் பாய்வது நின்றுவிட்டால் அதுவும் காந்த ஆற்றலை இழந்து வெறும் தேனிரும்புத் துண்டாகிவிடும். இம்முறையில் ஏற்படும் தற்காலிகமான காந்தம் மின் காந்தம் (electromagnet) எனப்படும்.

உலோகத் துண்டு எஃகுத் துண்டாக இருப்பின் நிலைக் காந்தம் (permanent magnet) உண்டாகும்.

காந்தத் தூண்டல்
(Magnetic induction)

சாதாரணத் தேனிரும்புத் துண்டு இரும்புத் தூளை ஈர்ப்பது இல்லை. ஆனால் படத்தில் காட்டியுள்ளது போலத் தேனிரும்புத் துண்டுக்கு அருகே (அதைத் தொடாமல்) ஒரு கட்டைக்காந்

த்தை வைத்துவிட்டுத் தேனிரும்புத் துண்டுக்குப் பக்கத்தில் குண்டூசிகளைக் கொண்டு வந்தால் அவை தேனிரும்புத் துண்டால் ஈர்க்கப்பட்டு அதனோடு ஒட்டிக்கொள்கின்றன. அப்போது தேனிரும்புக்கு அருகே வைத்த கட்டைக்காந்தத்தை நீக்கிவிட்டால் ஒட்டிக்கொண்டிருந்த குண்டூசிகள் கீழே விழுவதைக் காணலாம். இதிலிருந்து காந்தக் கட்டை அருகில் இருக்கும் வரை தேனிரும்பு காந்த ஆற்றலுடையதாக இருக்கிறது என்பதும் காந்தக் கட்டை எட்டிச் சென்றவுடன் தேனிரும்பு காந்த ஆற்றலை

படம் 127

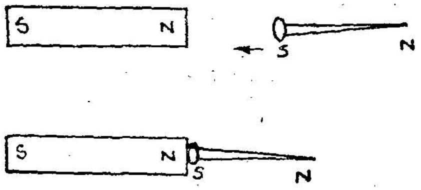
இழந்து விட்டது என்பதும் தெரிகின்றன. இவ்வாறு காந்தம் ஒன்று காந்தமில்லாத பொருளுக்குத் தருகின்ற காந்த ஆற்றல் தூண்டு காந்தம் என்றும், இந் நிகழ்ச்சி காந்தத் தூண்டல் என்றும் கூறப்படுகின்றன.

தூண்டும் காந்த முனைக்கு அருகிலுள்ள பொருளின் முனை தூண்டும் முனைக்கு எதிரான முனையையும், எட்டியிருக்கும் முனை தூண்டும் முனையை ஒத்த முனையையும் பெறுகின்றன.

அஃதாவது தூண்டுமுனை வடமுனை என்றால், அதற்கு அருகே உள்ள பொருளின் முனை தென்முனையாகும். எட்டியிருக்கும் முனை வடமுனையாகும்.

படம் 128

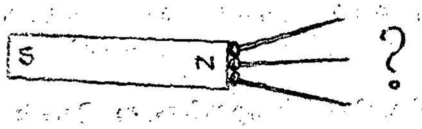
ஒரு குண்டூசியைக் காந்தத்தின் அருகில் வைக்கிறோம். அப்போது காந்தத் தூண்டல் ஏற்படக் காந்த வடமுனைக்கு அருகில்



படம் 129

உள்ள குண்டூசியின் ஒரு முனை தென் முனையாகிறது. ஒட்டியுள்ள மற்ற முனை வடமுனையாகிறது அவ்வாறு காந்த ஆற்றல் பெற்ற குண்டூசியின் தென்முனையைக் கட்டைக் காந்தத்தின் வடமுனை ஈர்க்க, ஊசி காந்தத்துடன் ஒட்டிக் கொள்கிறது.

எனவே கட்டைக் காந்தம் ஊசியை ஈர்ப்பதற்கு முன்பு காந்தத் தூண்டல் முறையில் அதைக் காந்த ஆற்றல் பெறச் செய்கிறது.

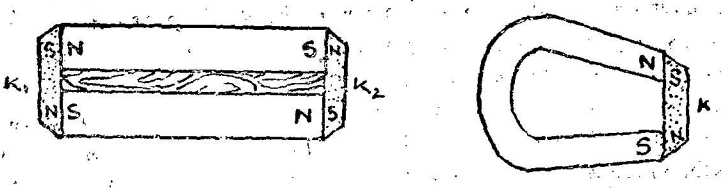


படம் 130

கட்டைக் காந்தத்தின் வடமுனையுடன் பல குண்டூசிகளின் தலைகளை ஒட்ட வைப்போம். ஊசிகளின் கூரிய மறுமுனைகள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டாமல் பிரிந்து நிற்கக் காணலாம். இதற்கான காரணம் மாணவரின் சிந்தனைக்கு விடப்பட்டிருக்கிறது.

காந்த நீக்கம் (demagnetisation)

காந்தங்களை உயரத்திலிருந்து கீழே பல முறைகள் போடுவது சுத்தியல் கொண்டு தாக்குவது அல்லது வெப்பப்படுத்துவது போன்ற முரட்டுத்தனமாகக் கையாளும்போது அவை காந்த ஆற்றலை இழக்கின்றன. இவ்வாறு முரட்டுத்தனமாகக் கையாளாத நிலையிலும்கூட காந்தத்தின் ஒருமுனை மற்றொரு முனையைத் தூண்டிக் காந்த ஆற்றலைக் குறைக்கிறது. இவ்வாறு நிகழாமல் தடுக்கக் காந்தங்கள் எப்போதும் இணையாகவே வைக்கப்படுகின்றன. ஒரு காந்தத்தின் வடமுனை மற்றதன் தென்முனைக்கு அருகிலிருக்குமாறும், தென்முனை வடமுனைக்கு அருகிலிருக்குமாறும் ஒன்றோடொன்று ஒட்டிக்கொள்ளாமல் இடையே மரக்



படம் 131

கட்டை ஒன்றைக் கொடுத்து இணையாக வைக்கிறார்கள். காந்த முனைகளுக்குக் குறுக்கே 'காவலர்கள்' (keepers) என்று அழைக்கப்படும் தேனிரும்புத் துண்டுகள் வைக்கப்படுகின்றன. இதனால் முடிவுற்ற காந்தச் சுற்று ஏற்படுகிறது. காந்தங்களின் தூண்டு முனைகளும் தேனிரும்புத் துண்டுகளின் தூண்டப்பட்ட முனைகளும் ஒன்றை ஒன்று பற்றிக்கொண்டிருப்பதால் காந்த ஆற்றல் வீணாவது இல்லை. 'காவலர்களை' நீக்கிக் கட்டைக் காந்தங்களை வெளியில் எடுத்தபிறகுதான் கட்டைக் காந்தத்தின் முனைகள் அருகில் உள்ள பொருள்களின் மீது செயற்படும். படம் 131 கட்டைக் காந்தங்கள் மற்றும் இலாடகாந்தம் ஆகியவற்றில் 'காவலர்களை' பொருத்தியுள்ள முறையை விளக்குகிறது.

காந்தவியலில் மூலக்கூறு கொள்கை (Molecular theory)

காந்தப் பொருளில் உள்ள ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் ஒரு நிலைக் காந்தம் என்ற உண்மையையும், அவை ஒழுங்கற்ற முறையில் அவற்றின் அச்சுகள் பல்வேறு திசைகளில் அமைந்திருக்குமாறு முடிவுற்ற சுற்றுகளை ஏற்படுத்திக் கொண்டிருப்பதால் அவற்றின் காந்தத் தன்மையை வெளிபடுத்த முடியாத நிலையில் இருக்கின்றன என்ற உண்மையையும் வெப்பர் (Weber) என்பார் உணர்ந்தார். இவ் வுண்மைகளின் அடிப்படையில் எவிங் (Ewing) காந்தவியலின் மூலக்கூறு கொள்கை (molecular theory of magnetism) என்பதை விளக்கினர்.

மூலக்கூறு காந்தங்கள், முடிவுற்ற சுற்றுக்களை அமைத்துக் கொண்டு இருப்பதால் காந்த ஆற்றலை வெளியிடமுடியாத நிலையில் இருக்கின்றன. அப் பொருளை காந்தமாக்கும் போது அச் சுற்றுக்களை உடைத்து மூலக்கூறு காந்தங்கள் வரிசைப்படுத்தபடுகின்றன. மூலக்கூறு காந்தங்களின் அச்சுகள் காந்தம் படுத்தும் புலத்தின் (magnetising field) போக்கில் திருப்பப்பட்டு வரிசைப்படுத்தப்படுகின்றன. இதனால் படத்தில் காட்டியவாறு வடமுனைகள் எல்லாம் ஒரு திசையையும், தென்முனைகள் எல்லாம் அதற்கு எதிர்த் திசையையும் நோக்கியவாறு அமைய, அப் பொருள் காந்தப்பண்பு பெறுகிறது. ஒரு காந்தக் கட்டையை உயரத்திலிருந்து தரையில் மோதி விழுமாறு போட்டாலோ, சுத்தியல் கொண்டு அடித்தாலோ அது காந்தப் பண்பினை இழந்து விடும். ஏன்? காந்தப்படுத்தும் புலத்தினால் வரிசைப்படுத்தப்பட்ட மூலக்கூறு காந்தங்கள் கீழே போடும்போதும் சுத்தியல்

கொண்டு அடிக்கும்போதும் ஏற்படும் அதிர்ச்சியினால் வரிசை கெட்டு முன்போலவே முடிவுற்ற சுற்றுகளை அமைத்துக் கொண்டு காந்தப்பண்பினை இழந்துவிடுகின்றன.

பின்வரும் சோதனைகள் மேற்கூறிய உண்மைக்குச் சான்றாக விளங்குகின்றன.

சோதனை 1

காந்தமாக்கப்பட்ட நீண்ட ஊசி ஒன்றை இரண்டாக உடைப்போம். உடைக்கப்பட்ட ஒவ்வொரு துண்டும் ஒரு தனிக் காந்தமாக இருப்பதைக்காணலாம். உடைபட்ட இடத்தில் ஒரு துண்டில் வடமுனையும் மறு துண்டில் தென்முனையையும் அமைந்திருப்பதைப் பார்க்கலாம். அத்துண்டுகளில் ஒன்றை மேலும் இரண்டாக்க அவை ஒவ்வொன்றும் ஒரு காந்தமாவதைக் காணலாம்.

சோதனை 2

ஒரு சோதனைக் குழலில் இரும்புத் தூளை நிரப்பி அதை ஒரு காந்தபுலத்தில் வைப்போம். இரும்புத் தூள்கள் ஒவ்வொன்றும் திருத்தப்பட்டுக் காந்தப் புலத்தின் போக்கில் வரிசைப்படுத்தப் படுவதையும், சோதனைக் குழலின் ஒரு நுனியில் வடமுனையும் மற்ற நுனியில் தென்முனையும் அமைந்து அச்சோதனைக் குழல் ஒரு காந்தமாகச் செயல்படுவதையும் காணலாம்.

காந்தப் புலமும் விசைக் கோடுகளும்

(Magnetic field and Lines of force)

காந்த முனைகளுக்கு இடையே உள்ள விசை பற்றிய விதி

இருமடி எதிர்விகித விதி (Inverse Square law) (கூலம் விதி)

ஒன்றுக்கொன்று r தூரத்திலுள்ள m_1 மற்றும் m_2 என்ற முனை வலிமைகளைக் கொண்ட இரு காந்த முனைகளுக்கிடையே உள்ள சார்ப்பு அல்லது எதிர்ப்பு விசை $F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$ ஆகும். μ என்பது அம்முனைகள் அமைந்துள்ள ஊடகத்தின் சார்பற்ற காந்தகடத்துத் திறன் (absolute permeability) C.G.S. முறையில் காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் காந்த கடத்துத்திறன் ஒன்று எனக் கொள்ளப் பட்டது. ஆனால் புதிய அறிவார்ந்த மீட்டர், கிலோகிராம் வினாடி முறையில் (அ.மீ.கி.வி.) காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் சார்பற்ற காந்த கடத்துத்திறனை μ_o என்று குறிப்பதுடன் அதன் மதிப்பு $4\pi \times 10^{-7}$ ஹென்றி / மீட்டர் எனக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. மேலும் ஓர் ஊடகத்தின் சார்பற்ற காந்தக் கடத்துத்திறனை காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் காந்த கடத்துத் திறனுடன் ஒப்பிட அவ்வூடகத்தின் சார்பு காந்தக் கடத்துத்திறன் μ_r கிடைக்கிறது.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \text{ அல்லது } \mu = \mu_o \mu_r$$

காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் μ_r மதிப்பு ஒன்றாகும்.

எனவே இருமடி எதிர் விகித விதியின்படி ஓர் ஊடகத்தில் அமைந்த இரு காந்த முனைகளுக்கிடையே காணப்படும் விசை

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi \mu r^2}$$

$$= \frac{m_1 m_2}{4\pi \mu_0 \mu_r r^2} \text{ நியூட்டன்கள்}$$

ஊடகம் காற்றானால் $\mu_r = 1$ ஆகும்.

எனவே $F = \frac{m_1 m_2}{4\pi \mu_0 r^2}$ நியூட்டன்கள்

இச்சமன்பாட்டில் $m_1 = m_2 = 1$ மீ. கி. வி. அலகு என்றும் $r = 1$ மீட்டர் என்றும் $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ என்றும் கொண்டால்,

$$F = \frac{1 \times 1}{4 . \pi . 4\pi \times 10^{-7} \times 1}$$

$$= \frac{10^7}{16\pi^2} \text{ நியூட்டன்களாகும்.}$$

எனவே அறிவார்ந்த மீ.கி.வி. முறையில் ஓர் அலகு முனை என்பது பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

வரையறை

ஒரு காந்தமுனை, தனக்குச்சமமான, தன்னியல்பு உள்ள மற்றொரு முனையிலிருந்து காற்று அல்லது வெற்றிடத்தில் ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் அமைந்திருக்கும் போது அவற்றிற்கு இடையே $\frac{10^7}{16\pi^2}$ நியூட்டன்கள் அளவுடைய எதிர்ப்பு விசை உண்டாகுமானால் அம்முனைகள் ஒவ்வொன்றும் ஓர் அலகு முனைகளாகும். இவ்வலகு ஒரு வெஃப்பர் (Weber) என்றழைக்கப்படுகிறது.

காந்தப்புலம் (Magnetic field)

காந்தத்தின் விளைவுகள் காணப்படுகின்ற, அதைச் சூழ்ந்து உள்ள இடம் காந்தப்புலம் எனப்படும். இது ஒரு முப்பரிமாணப் பகுதியாகும். இப்பகுதியில் உள்ள எந்த ஒரு புள்ளியிலும் வைக்கப் படுகின்ற காந்தப் பொருட்கள் விசை ஒன்றுக்கு உள்ளாகும்.

காந்தப்புலத்திலமைந்த ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் செறிவு அல்லது வலிமை

காந்தப் புலத்திலமைந்த ஒரு புள்ளியின் செறிவு அல்லது வலிமை அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் ஒரு வெஃப்பர் வலிமை

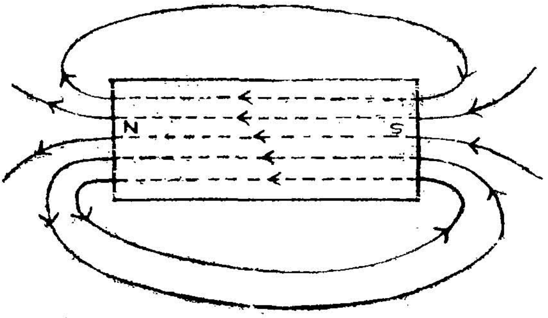
யுடைய வடமுனையின் மீது செயற்படும் விசையை வைத்துக் கணக்கிடப்படுகிறது. ஓர் அலகு முனையின் மீது உண்டாகும் விசை ஒரு நியூட்டன் என்றால் அப்புள்ளியில் காணப்படும் புலச்செறிவு ஒரு ஆம்பியர்-சுற்று/மீட்டர் எனப்படும்.

புலத்தின் ஏதோ ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகுமுனை (ஒரு வெ.ப்பர்) F நியூட்டன் விசை செயற்படுமானால் அப்புள்ளியில் காணப்படும் காந்தப் புலச்செறிவு F ஆம்பியர்-சுற்று/மீட்டர் ஆகும். மேலும் புலச்செறிவு என்பது அளவோடு திசையும் கொண்டது ஆகவே இது ஒரு வெக்டர் (vector) அளவாகும். விசையின் திசை எதுவோ அதுவே புலத்தின் திசையாகும்.

புலத்தின் ஒரு புள்ளியில் காணும் புலச் செறிவு F என்றால் அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் m வெ.ப்பர் வலிமையுடைய காந்த முனையின் மீது உண்டாகும் விசை mF நியூட்டன்களாகும்.

புலத்திலமைந்த எல்லாப் புள்ளிகளிலும், ஓரலகு வடமுனையின் மீது செயற்படும் விசையின் அளவு சமமாகவும், ஒரே திசையிலும் இருக்குமானால் அப்புலம் சீரான புலம் (uniform field) எனப்படும்.

காந்தப்புலம் ஒன்றில் கட்டற்ற தனித்த வடமுனை ஒன்றை வைத்தால் அது விசைக்கு உள்ளாகி குறிப்பிட்ட ஒரு கோட்டின் வழியே நகரும். அத்தகைய கோட்டிற்கு காந்த விசைக்கோடு (Magnetic line of force) எனப்படும் இக்கோடுகள் முனைகளோடு நின்றுவிடாமல் காந்தத்தினுள்ளே தென்முனையிலிருந்து வடமுனைக்குச் செல்கின்றன.



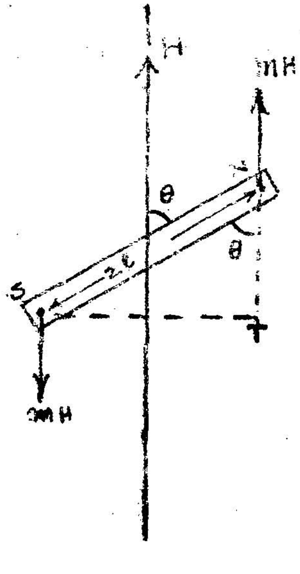
படம் 132

காந்தத்திற்கு வெளியே காணப்படும் கோடுகளுக்குத்தான் விசைக்கோடுகள் என்று பெயர். காந்தத்தினுள்ளே தென்முனை

யிலிருந்து வடமுனைக்குச் செல்லும் கோடுகளுக்கு (புள்ளிக் கோடுகள்) தூண்டல் கோடுகள் (lines of induction) என்று பெயர். காந்தப்புலம் விசைக்கோடுகளால் குறிக்கப்படுகிறது. இந்த விசைக்கோடுகளை காந்தப் பாய்மம் (Magnetic flux) என்றும் கூறுவர். ஓரலகுக்குறுக்குப் பரப்பின் வழியே செல்கின்ற விசைக்கோடுகள் அல்லது தூண்டல் கோடுகளின் எண்ணிக்கைக்கு பாய்மச் செறிவு (flux density) என்று பெயர். A குறுக்குப்பரப்பின் வழியே அப்பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக N எண்ணிக்கையுள்ள காந்தப் பாய்மங்கள் (விசை அல்லது தூண்டல் கோடுகள்) செல்வதாகக் கொண்டால் அவ்விடத்தின் பாய்மச் செறிவு $B = \frac{N}{A}$. மேலும் ஓரிடத்தில் புலச் செறிவு H என்றும் அவ்விடத்தின் காந்த கடத்துத்திறன் μ என்றும் கொண்டால் $B = \mu H$ ஆகும்.

காந்த திருப்புத்திறன் (Magnetic moment)

H வலிமையுடைய சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில், எளிதில் சுழல்வதற்கு ஏற்ற நிலையில் m என்னும் முனை வலிமை கொண்ட கட்டை காந்தம் ஒன்று தொங்கவிடப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.



படம் 133

கட்டை காந்தத்தின் அச்சு, காந்தப் புலத்தின் திசையிலிருந்து θ° திரும்பியிருப்பதாகக் கொள்க. காந்தத்தின் வட, தென் முனைகளில் சமமான, எதிரெதிர் திசைகளில், mH அளவு விசைகள் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி செயற்படுகின்றன. இதனால் காந்தத்தின்மீது ஒரு விசையிரட்டை உண்டாகிறது. இவ்விசையிரட்டை, காந்தத்தை, அதன் திருப்பிய நிலையிலிருந்து திருப்பி மீண்டும் காந்தப்புலத்தின் போக்கில் நிறுத்த முயல்கிறது.

காந்தவிசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் } = விசை × விசைகளுக்கிடையே உள்ள செங்குத்துத் தூரம்

$$= mH \times ST$$

$$= mH \times NS \sin\theta$$

$$= mH.\ 2l \sin\theta$$

$$= MH \sin\theta$$

இங்கு $2lm = M$ என பதிலீடு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. இதற்கு காந்தத்தின் திருப்புத்திறன் என்று பெயர்.

காந்த இரட்டையின் திருப்புத் திறன் $= MH \sin\theta$

என்றச் சமன்பாட்டில் $H=1$ மற்றும் $\theta = 90^\circ$ என்றால்

காந்த இரட்டையின் திருப்புத்திறன் $= M$ ஆகும்; அதாவது காந்த இரட்டையின் திருப்புத்திறன் காந்தத்தின் திருப்புத்திறனுக்குச் சமமாகும்.

எனவே காந்தத்தின் திருப்புத்திறனை பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம்.

ஓரலகுப் புலச்செறிவுடைய காந்தப் புலத்தில், அதன் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக கட்டை காந்தம் ஒன்றை வைக்கும்போது, அதன் மீது செயற்படும் காந்த விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறனுக்கு, அக்காந்தத்தின் திருப்புத்திறன் (M) என்று பெயர்.

அறிவார்ந்த மீ. கி. வி. முறையில் காந்த திருப்புத்திறன் வெப்பர்-மீட்டர் என்ற அளவுகளில் குறிப்பிடப்படுகிறது. m வெப்பர் முனைவலிமையும் $2l$ மீட்டர் நீளமும் கொண்ட காந்தத்தின் திருப்புத்திறன் $2lm$ வெப்பர்-மீட்டர் ஆகும்.

காந்தமாக்கற் செறிவு (Intensity of Magnetisation)

ஒரு காந்தத்தின் திருப்புத்திறனுக்கும் அதன் பருமனுக்கும் உள்ள விகிதம் அதன் காந்தமாக்கற்செறிவு எனப்படும். இது I என்னும் எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$I = \frac{M}{V} \text{ ஆகும்.}$$

$$= \frac{2lm}{2la}$$ இங்கு $V = 2la$, a என்பது காந்தத்தின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பாகும்.

$$= \frac{m}{a}$$

எனவே காந்தமாக்கற்செறிவு என்பது காந்தத்தின் ஓரலகுக் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பிற்கு உரிய முனை வலிமையாகும்; எனவே இதனை வெபர்/சதுரமீட்டர் என்ற அளவுகளில் குறிப்பிடுகிறோம்.

சில குறிப்புகள்

1. கட்டை காந்தத்தின் அச்சிலமைந்த ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை $F = \frac{2Md}{4\pi\mu_0 (d^2 - l^2)^2}$ ஆம்பியர்-சுற்று/மீட்டர் ஆகும். இங்கு M என்பது கட்டை காந்தத்தின் திருப்புத்திறனையும், l என்பது அதன் பாதி நீளத்தையும் குறிக்கின்றன. d என்பது காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து புலம் காணப் படவேண்டிய புள்ளியின் தூரத்தையும், μ_0 என்பது காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் காந்த கடத்துத் திறனையும் குறிக்கின்றன.

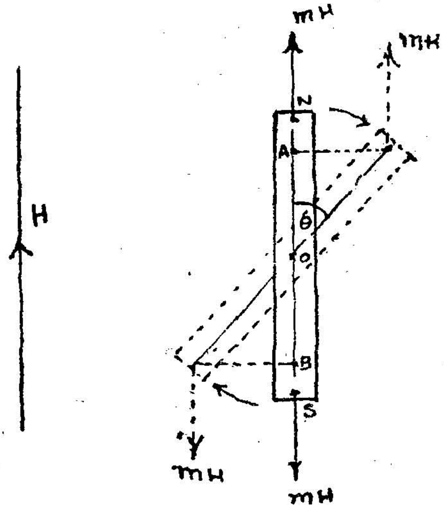
2. கட்டை காந்தத்தின் நீளம் மிக மிகக் குறைவானால் அதாவது $d >> l$ அச்சின்மீதுள்ள புள்ளியில் புலவலிமை $\frac{2M}{4\pi\mu_0 d^3}$ எனச் சுருங்கும்.

3. கட்டைக் காந்தத்தின் நடுக்குத்துக் கோட்டிலமைந்த புள்ளியில் காணப்படும் புலவலிமை $F = \frac{M}{4\pi\mu_0 (d^2 + l^2)^{3/2}}$ ஆம்பியர்-சுற்று/மீட்டர் ஆகும்.

4. கட்டைகாந்தத்தின் நீளம் மிகமிகக் குறைவானால் அதாவது $d >> l$ என்றால் நடுக்குத்துக் கோட்டிலுள்ள புள்ளியில் காணப்படும் புலவலிமை $\frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}$ எனச் சுருங்கும்.

காந்தக்கட்டை ஒன்றைத் திருப்பும் போது நடைபெறும் வேலையின் அளவு

$2l$ நீளமும், m முனைவலிமையும் கொண்ட NS என்ற காந்தம் ஒன்று தங்குதடையின்றி H செறிவுடைய சீரான காந்தப் புலம் ஒன்றில் தொங்கவிடப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். காந்தத்தில் N முனையில் mH என்ற விசை புலத்தின் போக்கிலும், S முனையில் mH என்ற விசை புலத்தின் போக்கிற்கு எதிர்த் திசையிலும் செயற்படும் என்பதை அறிவோம். இந் நிலையில் காந்தத்தை θ என்ற கோண அளவு திருப்பினால் N முனை அம் முனையிற் செயற்படும் விசையை எதிர்த்து NA என்ற தூரமும், S முனை அம் முனையில் செயற்படும் விசையை எதிர்த்து SB என்ற தூரமும் நகர்த்தப்படுவதைப் படத்திலிருந்து அறியலாம்.



படம் 134

$NA = ON - OA = l - l \, Cos \; \theta = l(1 - Cos\theta)$ ஆகும். இவ்வாறே $SB = OS - OB = l \, (1 - Cos\theta)$ ஆகும். எனவே

காந்தப் புலத்தின் விசைக்கு எதிராக ஒவ்வொரு முனையிலும் செய்யப்படும் வேலையின் அளவு = விசை × நகரும் தூரம்.

$$= mH \times l\,(1 - \cos\theta) \text{ ஆகும்.}$$

எனவே காந்தத்தினை θ° சுழற்றும் போது நடைபெறும் மொத்த வேலையின் அளவு $= 2 \times mH \times l \times [1-\cos\theta]$

$$= MH\,(1-\cos\theta)$$

$$= 2\,MH\,\sin^2\frac{\theta}{2}$$

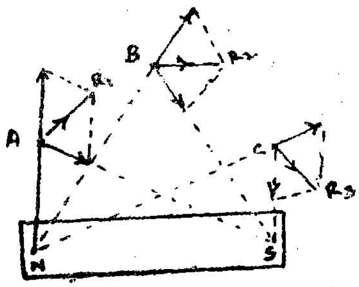
கோணம் θ மிகமிகச் சிறியதாக இருப்பின் $\sin\frac{\theta}{2} = \frac{\theta}{2}$ என எழுதலாம். ஆகவே மொத்த வேலையின் அளவு,

$$= \frac{2\,MH\theta^2}{4} = \frac{MH\,\theta^2}{2} \text{ ஆகும்.}$$

விசைக் கோடுகள் மற்றும் காந்தப்புலத்தின் படம்

ஓரிடத்தில் உள்ள காந்தப்புலத்தின் திசை அவ்விடத்தில் வைக்கப்பட்ட, தனித்த வடமுனையின்மீது செயற்படும் விசையின் திசையே ஆகும். வைக்கப்பட்ட வடமுனை நகரக்கூடிய நிலையில் இருப்பின் அது குறிப்பிட்ட பாதை வழியே நகரும். அப்பாதைக்கு காந்த விசைக்கோடு என்று பெயர். **ஒரு காந்தப் புலத்தில், நகரக்கூடிய நிலையிலுள்ள தனித்த வடமுனை ஒன்று நகர்ந்து செல்லும் பாதை காந்த விசைக் கோடு (magnetic line of force) எனப்படும். வடமுனை நகரும் திசையே விசைக்கோட்டின் திசையாகும்.**

NS என்ற ஒரு கட்டைக் காந்தத்தின் புலத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். A என்னும் ஏதாவது ஓரிடத்தில் தனித்த, ஓர் அலகு முனைவலிமை உடைய வட முனையை வைப்போம். கட்டைக் காந்தத்தின் வடமுனை A-ல் உள்ள வடமுனையை NA என்ற திசையில் விரட்டும். ஆனால் S என்னும் தென்முனை அதை AS என்னும் திசையில் ஈர்க்கும். இவ்விரு விசைகளாலும் ஏற்படும் தொகுபயன் விளைவு A-யில் உள்ள வடமுனையை AR_1 என்னும் திசையில் தள்ள, வடமுனை AR_1 என்னும் திசையில் நகர்ந்து A-க்கு அருகிலுள்ள 'B' என்ற இடத்திற்கு வருகிறது. அங்கும்



படம் 135

NB என்னும் திசையில் உண்டாகும் விரட்டும் விசை மற்றும் *BS* என்னும் திசையில் உண்டாகும் ஈர்ப்புவிசை ஆகியவற்றின் தொகு பயன் விளைவு வயப்பட்டு BR_2 என்னும் திசையில் நகர்ந்து அதனருகில் உள்ள *C* என்ற புள்ளிக்கு வரும். இவ்வாறே தொடர்ந்து கட்டைக் காந்தத்தின் தென்முனையை அடையும்.

காந்த விசைக்கோடுகளின் பண்புகள்

(i) காந்த விசைக்கோடுகள் காந்தத்தின் வடமுனையிலிருந்து கிளம்பித் தென்முனையைச் சென்று அடைகின்றன.

(ii) விசைக்கோடுகள் ஒன்றை ஒன்று வெட்டிக்கொள்ளாது. அவை அவ்வாறு வெட்டிக்கொள்ளும் என்று வைத்துக்கொண்டால் அந்த வெட்டுப் புள்ளியில் காந்தப்புலம் இரு திசைகளை உடையது என்று கூறும் நிலை ஏற்படும். அவ்வாறு கூறுவது உண்மைக்கு மாறுபட்டது. எனவே விசைக்கோடுகள் ஒன்றை ஒன்று வெட்டும் என்பது தவறு.

(iii) விசைக் கோட்டின் மீதுள்ள எந்தப் புள்ளியிலிருந்தும் அக் கோட்டிற்கு வரையப்பட்ட தொடுகோடு (tangent) அப் புள்ளியில் உள்ள காந்தப் புலத்தின் திசையைக் குறிக்கிறது.

(iv) சீரான காந்தப் புலத்தில் விசைக்கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவுள்ள நேர்க்கோடுகளாக இருக்கும்.

(v) சீரற்ற காந்தப் புலத்தில் விசைக் கோடுகள் வளைந்தும், ஒன்றை ஒன்று நெருங்கியும் விரிந்தும் செல்லும்.

காந்த விசைக் கோடுகளை வரைதல்

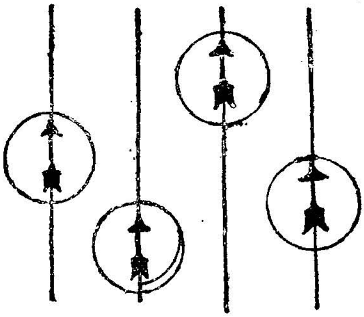
சிறிய, வட்டமான கண்ணாடிப் பெட்டியினுள் செங்குத்தான அச்சு ஒன்றில் சுழலுமாறு வைக்கப்பட்டுள்ள காந்த ஊசியைக் கொண்டு விசைக்கோடுகளை வரையலாம். இதற்கெனத் தயாரிக்கப்படும் அமைப்பு 'திசைகாட்டிப் பெட்டி' (compass box) எனப்படும். ஒரு காந்தப் புலத்தில் இப் பெட்டியை வைத்தால் அதிலுள்ள ஊசி அசைந்து திரும்பி அதன் வடமுனை அவ்விடத்திலுள்ள காந்தப் புலத்தின் திசையைத் தருகிறது.

கட்டைக் காந்தத்தைச் சூழ்ந்துள்ள காந்தப்புலத்தில் ஏதாவது ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டு திசைகாட்டிப் பெட்டியிலுள்ள ஊசியின் ஏதாவது ஒரு முனை (தென்முனை) அப் புள்ளியின் மீது இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். அந் நிலையில் ஊசியின் வடமுனை இருக்கும் இடத்தைப் பென்சிலால் குறிக்க வேண்டும்.

பின்னர் திசைகாட்டிப் பெட்டியை நகர்த்தி ஊசியின் தென்முனை புதிய புள்ளியின் மேல் இருக்குமாறு செய்து பின்னர் இப் புதிய நிலையில் ஊசியின் வடமுனை இருக்குமிடத்தைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். மறுபடியும் முன்போலவே திசைகாட்டிப் பெட்டியை நகர்த்திப் புள்ளிகளைக் குறித்துக்கொண்டே செல்லவேண்டும். இவ்வாறு குறித்த புள்ளிகளை எல்லாம் சேர்க்க, விசைக்கோடு ஒன்று கிடைக்கும். அதேபோன்று புலத்தின் வேறு ஒரு புள்ளியில் தொடங்கி மற்றொரு விசைக்கோட்டை வரையலாம். இவ்வாறு காந்தப்புலம் முழுதும் விசைக்கோடுகளால் நிரப்பிவிடலாம். இவ்வாறு விசைக்கோடுகளை வரைந்து காந்தப் புலத்தின் அமைப்பு, இயல்பு ஆகியவற்றை அறியலாம்.

இங்குத் தரப்பட்டிருக்கும் வரைபடங்கள் பலவகைப்பட்ட காந்தப் புலங்களைக் குறிக்கின்றன.

படம் (a) இது சீரான பூமிகாந்தப் புலத்தைக் குறிக்கிறது. இதில் விசைக்கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகச் செல்வதைக் கவனிக்கவும். இத்தகைய புலத்தின் 'திசைகாட்டிப்



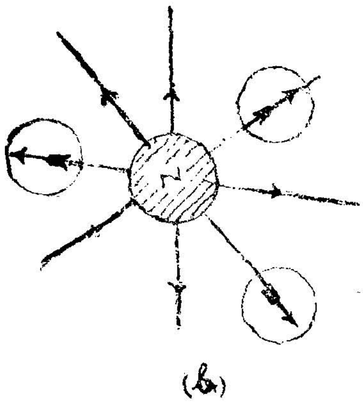
படம் 136 (a)

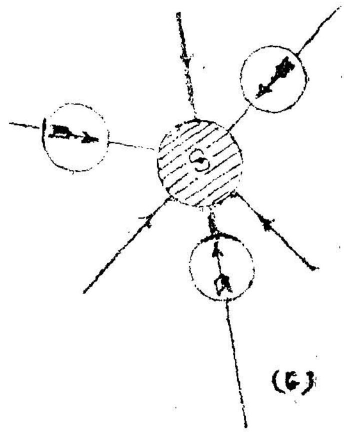
பெட்டியை' எந்த இடத்தில் வைத்தாலும் அஃது ஒரே திசையைத் தான் காட்டும்.

படம் (b) தனித்த வடமுனை ஒன்றைச் சுற்றியுள்ள காந்தப் புலத்திலுள்ள விசைக்கோடுகளின் அமைப்பைக் காட்டுகிறது. இத்தகைய புலத்தில் திசைகாட்டிப் பெட்டியில் உள்ள காந்த ஊசியின் வடமுனை வெளிப்பக்கம் பார்த்தபடி இருப்பதைக் கவனிக்கவும். எனவே விசைக்கோடுகள் வடமுனையிலிருந்து வெளிவருகின்றன.

படம் (c) தனித்த தென்முனை ஒன்றைச் சுற்றியுள்ள காந்தப் புலத்திலுள்ள விசைக் கோடுகளின் அமைப்பைக் காட்டுகிறது

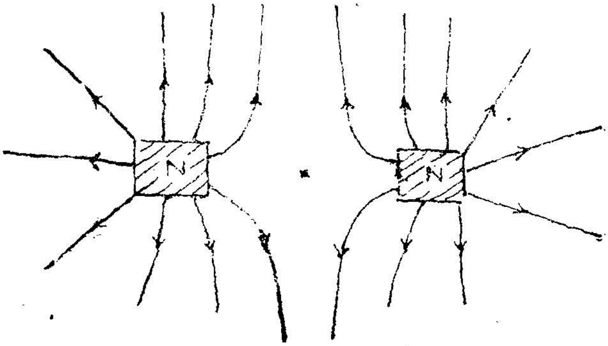
திசைகாட்டியின் வடமுனை உட்பக்கம் திரும்பியிருப்பதைக் காண்க. எனவே விசைக் கோடுகள் தென்முனையில் முடிவடைகின்றன என்பதை அறிகிறோம்.





படம் 136 (b) (c)

படம் (d) இஃது ஒத்த இரு முனைகள் தரும் புலத்தின் அமைப்பைக் காட்டுகின்றது. X குறியிட்ட புள்ளியைச் சுற்றியுள்ள பகுதியை நோக்குக. அங்கு விசைக் கோடுகள் செல்வதில்லை. ஏன் X-ல் ஒரு முனையால் ஏற்பட்ட புலத்தை மற்ற முனையால்



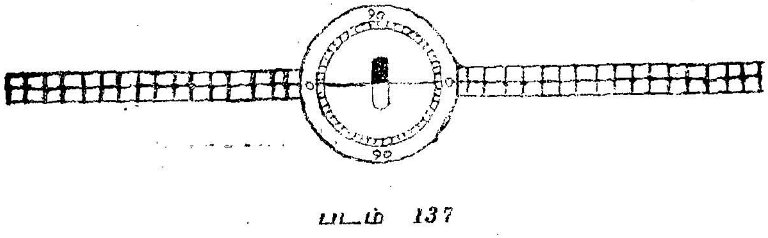
படம் 136 (d)

ஏற்பட்ட புலம் எதிர்த்து அழித்துவிட்டன. எனவே அவ்விடத்தில் இவ்விரு முனைகளாலும உண்டாகும் விளைபுலத்தின் (resultant field) அளவு சுழி ஆகும். இவ்வாறு ஒரு புலத்தின் வலிமையை மற்றொரு புலம் எதிர்த்து அழித்துவிடும் புள்ளிக்கு நடுநிலைப்புள்ளி (neutral point) என்று பெயர்.

விலகு காந்தமானி

(Deflection magnetometer)

இச் கருவியில் கூர் முனையில் தாங்கப்பட்டிருக்கும் சிறிய காந்த ஊசி ஒன்று உண்டு. காந்த ஊசியில் அதன் அச்சுக்குக் குத்தாக நீண்ட மெல்லிய அலுமினியக் குறிகாட்டி பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. ஊசி, வட்ட அளவு கோலின் மையத்தில் வைக் கப்பட்டிருக்கிறது அளவு கோலுக்குக் கீழே சமதள ஆடி ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்தனையும் கண்ணாடி மூடியுள்ள பித் தளைப் பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இப் பெட்டி ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள அளவுகோல் ஒன்றின் மையத்தில் எளிதாகச்



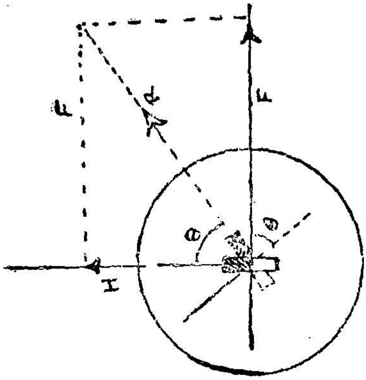
படம் 137

சுழற்றக் கூடியவாறு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வட்ட அளவு கோலின் வட்டக் கால்பகுதிகள் ஒவ்வொன்றும் 0° விருந்து 90° வரை பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. விலக்கங்களை (deflections) நோக்கும்போது இடமாறு தோற்றப் பிழை (parallax error) ஏற் படாமல் தடுக்கவே வட்ட அளவு கோலின்கீழ்ச் சமதள ஆடி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

விலகு காந்தமானி செயற்படும் முறை

இரு காந்தப் புலங்கள் (F மற்றும் H) ஒன்றுக்கொன்று செங் குத்தாகச் செயற்படும் புள்ளியில் ஒரு காந்த ஊசியை வைத்தால் ஊசி தொகு பயன் விளைவுப் புலத்தின் (resultant field) திசையை

நோக்கித் திரும்பும் என்பதை அறிவோம். காந்த ஊசி θ° திரும்பியது என்றால்,



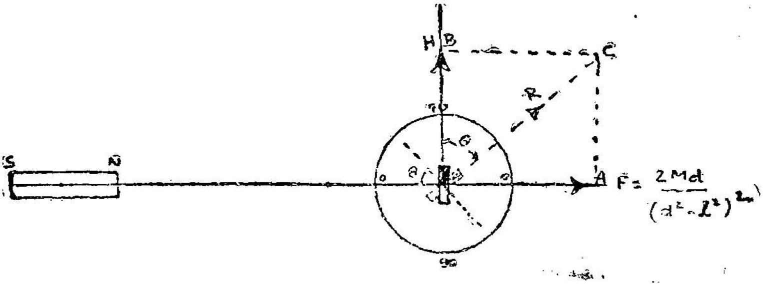
$$\frac{F}{H} = \tan\theta$$

$F = H \tan\theta$ ஆகும்.

வேறு காந்தப் புலமோ அல்லது காந்தப் பொருள்களோ அருகில் இல்லாதபோது கூர் முனையில் தாங்கப்பட்ட காந்த ஊசி தெற்கு வடக்காகப் பூமியின் காந்தத் துருவ தளத்தின் போக்கில் நிற்கும் என்பதை அறிவோம்.

படம் 138

பூமிப்புலத்தின் கிடை மட்டக்கூறு H என்போம். ஒரு கட்டைக் காந்தத்தை அதன் அச்சு கிழக்கு மேற்காக இருக்குமாறு படத்தில் காட்டியவாறு வைப்போம். இப்போது காந்த ஊசி இருக்குமிடத்தில் கட்டைக் காந்தத்தின் அச்சில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் புலம் கிழக்கு மேற்கிலும், பூமிப்புலத்தின் கிடைக்கைக் கூறு தெற்கு வடக்கிலும் செயற்படுவதால், காந்த ஊசி θ என்னும் கோண அளவு திருப்பமுற்றுத் தொகுபயன் விளைவுப் புலத்தின் திசையில் நிற்கும்.



படம் 139

படத்தில் PA என்பது கிழக்கு மேற்காகச் செயற்படும் கட்டைக் காந்தப் புலமாகிய Fஐயும், PB என்பது தெற்கு வடக்காகச் செயற்படும் பூமிகாந்தப் புலத்தின் கிடைக்கைக் கூறாகிய Hஐயும் குறிக்கின்றன. இணைகர விதியின்படி PC என்பது அவற்றின் விளை புலத்தைக் குறிக்கும். காந்த ஊசி H-ன் திசையிலிருந்து θ° திரும்பி விளைபுலத்தின் திசையில் நிற்கிறது. ஆகவே,

$$\frac{F}{H} = \tan\theta \quad \therefore F = H\tan\theta. \text{ ஆனால் } F = \frac{2Md}{4\pi\mu_0(d^2-l^2)^2}$$

$$\therefore \frac{2Md}{4\pi\mu_0(d^2-l^2)^2} = H\tan\theta \text{ ஃ } M = \frac{4\pi\mu_0(d^2-l^2)^2 . H\tan\theta}{2d}$$

இங்கு M என்பது கட்டைக் காந்தத்தின் சுழற்றும் திறனையும், d என்பது கட்டைக்காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து காந்த ஊசியின் மையத்திற்கு உள்ள தூரத்தையும் குறிக்கின்றன. இப்போது நாம் கண்ட அமைப்பு முனைமேல் நிலை ('end-on' position) அல்லது Tan A நிலை எனப்படும்.

இரு கட்டைக் காந்தங்களின் திருப்புதிறனை விலகு காந்தமானி கொண்டு ஒப்பிடல்

(i) முனை மேல் நிலை அல்லது TAN A நிலை

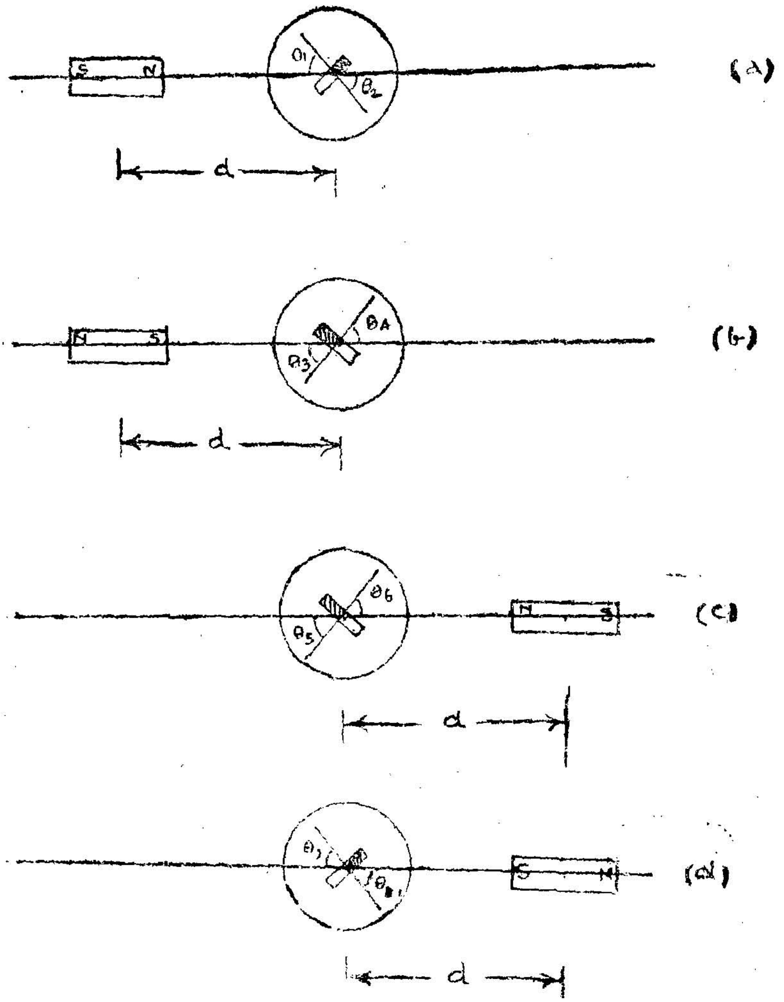
விலகு காந்தமானியைக் கிடைமட்டமாக மேசை ஒன்றின்மீது வைத்து, அதன் புயங்கள் ஊசியில் பொருத்தப்பட்டுள்ள அலுமினியக் குறிகாட்டிக்கு இணையாக இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். இந் நிலையில் புயங்கள் சரியாகக் கிழக்கு மேற்காக இருக்கும். பின்னர் கவனமான விலகுகாந்தமானியிலுள்ள வட்ட அளவு கோலைச் சுழற்றி அதன் சுழிப் பிரிவுகள் குறிகாட்டியின் முனைகளுடன் இடமாறு தோற்றப் பிழை இன்றிப் பொருந்துமாறு செய்தல் வேண்டும். இப்போது காந்தமானி முனைமேல் நிலை அல்லது Tan A நிலையில் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந் நிலையில் பின்வரும் இரு முறைகளில் காந்தங்களின் திருப்பு திறனை ஒப்பிடலாம்.

(a) சமதூர முறை (equal distance method)

முதல் காந்தத்தின் திருப்பு திறன் M_1 என்றும் இரண்டாவது காந்தத்தின் திருப்பு திறன் M_2 என்றும் கொள்வோம். இரண்டுமே குட்டையான காந்தங்கள் என்றும் வைத்துக் கொள்வோம். இரு காந்தங்களின் மையங்களையும் பென்சிலால் குறிப்போம்.

காந்தமானியை Tan A நிலையில் வைத்த பின்பு, முதல் காந்தத்தைக் காந்த மானியின் மேற்குப் புயத்தின் மீது கிழக்கு மேற்காக அதன் அச்சு, காந்த ஊசியின் மையத்தின் வழியாகச் செல்லுமாறு தக்க ஒரு தூரத்தில் வைக்க வேண்டும். காந்த ஊசியின்

திருப்பம் 30°-க்கு மேலும் 65°-க்கு உள்ளும் இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்வது நன்று. இந்நிலையில் அலுமினியக் குறி காட்டி காட்டும் கோணத்திருப்பங்களாகிய θ_1, θ_2 ஆகியவற்றைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர்க் காந்தத்தை அதன்



படம் 140
(எட்டுத் திருப்பங்களைப் பெறும் முறை)

வடமுனை இருந்த இடத்தில் தென்முனை வருமாறும், தென்முனை இருந்த இடத்தில் வடமுனை வருமாறும் திருப்பி அதே தூரத்தில் வைக்கவேண்டும். இப்போது காந்த ஊசி

எதிர்ப்பக்கம் திரும்ப, அலுமினிய குறிகாட்டி θ_3, θ_4 என்னும் திருப்பங்களைக் காட்டும். அவைகளைக் குறித்துக்கொண்டு காந்தத்தைக் காந்தமானியின் கிழக்குப் புயத்தின்மீது அதே தூரத்தில் வைத்து அப்போதுள்ள θ_5, θ_6 என்னும் திருப்பங்களையும், பின், காந்தத்தை வடமுனை தென் முனையாகவும், தென் முனை வடமுனையாகவும் திருப்பிய பின்னர்க் காணப்படும் θ_7, θ_8 என்னும் திருப்பங்களையும் குறித்துக்கொண்டு $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \cdots \theta_8$ என்னும் எட்டுத் திருப்பங்களின் சராசரியைக் காண வேண்டும். அவ்வாறு பெற்ற சராசரித் திருப்பம் θ_I என்போம்.

இதே போன்று இரண்டாவது காந்தத்தைக் காந்தமானியின் மேற்கிலும், கிழக்கிலும் முதல் காந்தத்தை வைத்த அதே தூரத்தில் வைத்து (d) இரண்டாவது காந்தத்திற்குரிய 8 திருப்பங்களையும் அவற்றின் சராசரியாகிய θ_{II} -ஐயும் பெறலாம்.

முதல் காந்தத்திற்கு $\dfrac{2M_1\, d_1}{4\pi\mu_\circ\, (d_1^2-l_1^2)^2} = H \tan\theta_I \quad \dots \quad (1)$

இரண்டாம் காந்தத்திற்கு $\dfrac{2M_2\, d_1}{4\pi\mu_\circ (d_1^2-l_2^2)^2} = H \tan\theta_{II} \quad \cdots \quad (2)$

சமன்பாடு 1–ஐ சமன்பாடு 2–ல் வகுக்க,

$$\frac{\dfrac{2M_1\, d_1}{4\pi\mu_\circ\, (d_1^2 - l_1^2)^2}}{\dfrac{2M_2\, d_1}{4\pi\mu_\circ\, (d_1^2-l_2^2)^2}} = \frac{H\tan\theta_I}{H\tan\theta_{II}}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan\theta_I}{\tan\theta_{II}} \quad \frac{(d_1^2-l_1^2)^2}{(d_1^2-l_2^2)^2}$$

இதே போன்று முதல் காந்தம் மற்றும் இரண்டாவதுகாந்தங்களைத் தகுந்த மற்றொரு தூரத்தில் வைத்துத் திரும்பவும் செய்து $\dfrac{M_1}{M_2}$-ஐக் காணலாம்.

(b) நடு நிலை பெறச் செய்யும் முறை (Null method)

இம்முறையில் முதல் காந்தம் தரும் புலத்தின் வலிமையை இரண்டாவது காந்தம் தரும் புலத்தின் வலிமை எதிர்த்து அழித்து விட, காந்த ஊசி திருப்பம் அடையாமல் தெற்கு வடக்காகவே நிற்கும். இந் நிலையில் காந்த ஊசி இருக்குமிடத்தில் முதல் காந்தம் தருகின்ற புலம், இரண்டாவது காந்தம் தருகின்ற புலத்திற்குச் சமமாகும்.

முன்பு கூறியது போலக் காந்தமானியை Tan A நிலையில் வைத்த பின்பு, முதல் காந்தத்தைக் காந்தமானியின் மேற்குப் புயத்தின் மீது d_1 என்னும் தூரத்தில் அதன் வடமுனை ஊசியைப் பார்த்தவாறும் அதன் அச்சு ஊசியின் மையம் வழியே செல்லுமாறும் வைக்க வேண்டும். இரண்டாவது காந்தத்தை, காந்தமானியின் கிழக்குப் புயத்தின் மீது அதன் வடமுனை காந்த ஊசியைப் பார்த்தவாறும், அதன் அச்சு காந்த ஊசியின் மையம் வழியே செல்லுமாறும் வைத்துப் பின்னர், முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி அலுமினியக் குறிகாட்டி 0–0 நிலை அடையுமாறு சீர் செய்ய வேண்டும். இப்போது இரண்டாம் காந்தத்தின் மையத்திற்கும் ஊசியின் மையத்திற்கும் உள்ள தூரத்தை அளந்து d_2 என்று குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். காந்தங்களை வடமுனை தென்முனையாகத் திருப்பி அவற்றின் தென்முனைகள் ஊசியைப் பார்க்குமாறு வைத்து மறுபடியும் d_2-ன் மதிப்பினைக் குறித்துக் கொண்டு முதலில் கண்ட d_2-ன் மதிப்பிற்கும், பின்னர்க் கண்ட d_2-ன் மதிப்பிற்கும் சராசரி எடுத்துக் கொள்ளலாம். முதற் காந்தத்தின் புலத்தை, இரண்டாவது காந்தத்தின் புலம் எதிர்த்து அழித்து விடுவதால்,

$$\frac{2M_1 d_1}{4\pi\mu_0 (d_1^2 - l_1^2)^2} = \frac{2M_2 d_2}{(d_2^2 - l_2^2)^2 4\pi\mu_0}$$

$$\text{ஆகவே } \frac{M_1}{M_2} = \frac{(d_1^2 - l_1^2)^2}{(d_2^2 - l_2^2)^2} \frac{d_2}{d_1}$$

இரு வேறு இடங்களின் புவி காந்தப் புலச் செறிவின் கிடை மட்டக் கூறுகளை ஒப்பிட்டறிதல்

புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு H_1 ஆக உள்ள இடத்தில் விலகுகாந்தமானியை (deflection magnetometer) tan A நிலையில் அமைத்துப் பின் M திருப்புதிறன் கொண்ட ஒரு கட்டைக் காந்தத்தை d செ.மீ.-ல் வைத்தப்போது ஏற்படும் சராசரி திருப்பமாகிய θ_1-ஐக் கணக்கிடவேண்டும். பிறகு அதே காந்தக்கட்டையை, புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு H_2 ஆகவுள்ள மற்றொரு இடத்திற்கு எடுத்துச் சென்று அந்த tan A நிலையில் அதே d செ.மீ. தூரத்தற்கு ஏற்படும் θ_2 என்ற சராசரி திருப்பத்தைக் கண்டறிய வேண்டும்.

முதல் இடத்தில், $\frac{2Md}{4\pi\mu_0 (d^2-l^2)^2} = H_1 \tan \theta_1$ ஆகும்.

இரண்டாவது இடத்தில், $\frac{2Md}{4\pi\mu_0 (d^2-l^2)^2} = H_2 \tan \theta_2$ ஆகும்.

இதிலிருந்து $H_1 \tan \theta_1 = H_2 \tan \theta_2$ ஆதமல்லவா ?

ஆகவே, $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}$

d-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கு மீண்டும் மீண்டும் சோதனை செய்து $\frac{H_1}{H_2}$-ன் சராசரி மதிப்பினை அறியலாம்.

இருமடி எதிர் விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்
(Verification of Inverse square law)

(i) காஸ் முறை (Gauss method)

இஃது ஒரு மறைமுக முறையாகும்: சிறிய கட்டைக் காந்தம் ஒன்றின் மையக் குத்துக்கோட்டில் d செ.மீ. தூரத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் புலச் செறிவினைப்போல் இரு மடங்கு புலச் செறிவு, அக் காந்தத்தின் அச்சில் அதே d செ. மீ. தூரத்திலுள்ள புள்ளியில் காணப்படும் என்பது இருமடி எதிர் விதியைக்கொண்டு நாம் பெற்ற சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறப்பட்ட உண்மையாகும்.

அஃதாவது tan A நிலையில்,

$$\frac{2M}{4\pi\mu_0 d^3} = H \tan \theta_A$$

tan B நிலையில், $\frac{M}{4\pi\mu_0 d^3} = H \tan \theta_B$ ஆகும்.

மேலேயுள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\frac{\frac{2M}{4\pi\mu_0 d^3}}{\frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}} = \frac{H \tan \theta_A}{H \tan \theta_B}$$

$$2 = \frac{\tan \theta_A}{\tan \theta_B}$$ ஆகும் என்றறிகிறோம். நாம் செய் முறை மூலம், குறிப்பிட்ட d ன் மதிப்புக்கு tan A நிலையில் பெறும் θ_A மற்றும் tan B நிலையில் பெறும் θ_B ஆகியவற்றிடையே

$\frac{\tan\theta_A}{\tan\theta_B} = 2$ ஆக இருப்பின் இருமடி எதிர்விகித விதி மறைமுகமாகச் சரிபார்க்கப்பட்டது என்றாகும்.

(ii) ஒற்றை முனை முறை (Single pole method)

விலகு காந்தமானியை tan A நிலையில் அமைக்கவேண்டும். இச் சோதனைக்குப் பந்து முனை கொண்ட நீண்ட காந்தம் மிகவும் ஏற்றதாகும். காந்தத்தின் வடமுனை, காந்தமானிக்குக் கிழ்த் திசையில் d_1 செ.மீ. தூரத்தில் இருக்குமாறும், தென்முனை காந்தமானியின் மையத்திற்கு நேர்மேலே இருக்குமாறும் வைக்க வேண்டும். இப்போது காணப்படும் சராசரி திருப்பத்தை θ_1 எங்போம். காந்தமானியின் மையத்தில் பந்துமுனைக் காந்தத்தின் வட முனை ஏற்படுத்தும் விசை $f = \frac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2}$

$$\frac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2} = H \tan\theta_1$$

$$\frac{m}{4\pi\mu_0 H} = d_1^2 \tan\theta_1$$

இதில் μ_0, π, m, H என்பன மாறிலிகள் ஆகையால் $d_1^2 \tan\theta_1$ என்பது மாறிலியாக இருக்கவேண்டும். பந்து முனைக் காந்தத்தின் வட முனையை d_2, d_3 ...என்னும் வெவ்வேறு தூரங்களில் அமைத்து அப்போது ஏற்படும் θ_2 θ_3 ...ஆகிய திருப்பங்களைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

இருமடி எதிர்விகித விதி சரியென்றால், $\frac{m}{4\pi\mu_0 H} = d_1^2 \tan\theta_1$ $= d_2^2 \tan\theta_2 = d_3^2 \tan\theta_3$ ஆக இருக்க வேண்டும்.

4. அலைவு காந்தமானி
(Vibration magnetometer)

சீரான காந்தப் புலம் ஒன்றில், தங்கு தடையின்றித் தொங்க விடப்பட்ட கட்டைக் காந்தம், காந்தப் புலத்தின் திசைக்கு இணையாக அதன் அச்சு இருக்குமாறு நிலையாக நிற்குமென்று கண்டோம். காந்தத்தின் அச்சு, புலத்தின் திசையிலிருந்து $\theta°$ சாய்ந்திருக்குமாறு திருப்பினால், $MH \sin\theta$ திருப்புதிறன் கொண்ட இரட்டை (couple) ஒன்று செயற்பட்டுக் காந்தத்தைச் சமநிலைக்குக் கொண்டுவர முயலும். காந்தம் நகர்ந்து தன் பழைய நிலைக்கு வரும்போது அது பெற்ற இயக்க ஆற்றலின் காரணமாகச் சமநிலையைத் தாண்டிச் சென்று காந்தத்தை ஏறக்குறைய $\theta°$ அளவிற்கு எதிர்ப்பக்கத்தில் திருப்புகிறது. முன்பு கூறியது போல $MH \sin\theta$ என்ற சுழற்றுத்திறனுடைய இரட்டைச் செயற்பட்டு சமநிலைக்குக் கொண்டுவர முயல்வதும், இயக்க ஆற்றல் காந்தத்தைத் திருப்புவதும் மாறி மாறி நடைபெற, காந்தம் தொடர்ந்து அலைவுறுகிறது. காந்தத்தின் இவ்வியக்கம் சீரிசை இயக்கமாகும் (simple harmonic motion).

θ என்பது சிறியதாக இருக்கையில் $\sin\theta = \theta$ ஆகும். எனவே, இரட்டையின் திருப்பு திறன் $= MH\theta$ ஆகும்.

கோண முடுக்கம் $= \dfrac{MH\theta}{I}$. இங்கு I என்பது தொங்கும் அச்சைப் பொறுத்துக் கணக்கிட்ட காந்தத்தின் நிலைமத் திருப்புதிறனாகும் (moment of inertia). ஆகவே, சீரிசை இயக்கத்தின்

$$\text{அலைவு நேரம் } T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{1}{\dfrac{\text{ஓரலகு இடப் பெயர்ச்சிக்}}{\text{குரிய கோணமுடுக்கம்}}}\right)}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

கட்டைக் காந்தத்தின் வடிவ அமைப்பிற்குரிய I-ன் மதிப்பினைக் கிளார்க் அட்டவணை (Clark's table) யிலிருந்து அறியலாம்.

சேர்ல்-ன் அலைவு காந்தமானி (Searle's Vibration magnetometer)

இதில் 2 செ.மீ. நீளமுடைய சிறிய உருளை வடிவக் காந்தம் ஒன்று இருக்கிறது. இது கனமான பித்தளை உருளை ஒன்றில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. பித்தளை உருளையை அதன் அச்சு செங்குத்து நிலையில் இருக்குமாறு முறுக்கற்ற பட்டு இழையில் தொங்கவிடலாம். காந்தத்திற்குக் கீழே அதற்கு இணையாக நீண்ட அலுமினியத்தினாலாகிய குறிமுள் ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அலைவுகள் காற்றினால் பாதிக்கப்படாமலிருக்கும் பொருட்டு இவ்வூசி தக்க ஒரு கண்ணாடிப் பெட்டிக்குள்ளோ அல்லது உயரமான ஜாடி ஒன்றுக்குள்ளோ தொங்கவிடப்படுகிறது. கட்டைக்காந்தம் ஒன்றை மெதுவாக ஊசி அருகே கொண்டுவந்தால் காந்த ஊசி திருப்பமடையும். பின் கட்டைக் காந்தத்தை எட்டி எடுத்துச் சென்றுவிட்டால் ஊசி அலைவுறும்; நிறுத்து கடிகாரத்தின் உதவியால் இருபது அலைவுகளுக்கான காலத்தைக் கண்டுபிடித்து அதிலிருந்து அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடலாம். இக் கருவியைக் கொண்டு இரு இடங்களில் புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறுகளை ஒப்பிடுவது, கட்டைக் காந்தத்தின் அச்சில் அமைந்துள்ள வெவ்வேறு புள்ளிகளில் காணப்படும் காந்தப்புலத்தை ஒப்பிடுவது, இருமடி எதிர் விகித விதியினைச் சரி பார்ப்பது போன்ற சோதனைகளைச் செய்யலாம்.

(i) பூமியின் இருவேறு இடங்களில் காணப்படும் புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறுகளை ஒப்பிட்டறிதல் :

கிடைமட்டக் கூறு H_1 ஆகவுள்ள இடத்தில் அலைவுறு காந்தமானியை அமைத்து அவ்விடத்தில் காந்த ஊசியின் அலைவு நேரம் T_1-ஐக் கணக்கிட்ட பின்பு, அதே ஊசியைக் கிடைமட்டக் கூறு H_2 ஆகவுள்ள மற்ற இடத்திற்கு எடுத்துச் சென்று அங்கு அலைவு நேரம் T_2-ஐக் கணக்கிட வேண்டும்.

முதல் இடத்தில், $T_1 = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{MH_1}}$ அல்லது

$$T_1^2 = \frac{4\pi^2 I}{MH_1} \text{ ஆகும்.}$$

இரண்டாவது இடத்தில்,

$$T_2^2 = \frac{4\pi^2 I}{M H_2} \text{ ஆகும்.}$$

இவற்றிலிருந்து, $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{H_2}{H_1}$ என்றாகும்.

அலைவு நேரம் T என்றால் காந்தத்தின் அலைவு எண் $n = \frac{1}{T}$ என அறிவோம். எனவே, முதல் இடத்தில் அலைவு எண் n_1 என்றும் இரண்டாவது இடத்தில் அலைவு எண் n_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{n_2^2}{n_1^2} \text{ ஆகும்.}$$

(ii) கட்டைக் காந்தத்தின் அச்சிலுள்ள வெவ்வேறு புள்ளிகளில் காணப்படும் புலச்செறிவினை ஒப்பிட்டறிதல்

ஒரு கட்டைக் காந்தத்தைப் புவிகாந்தப் புலத்தின் போக்கில், அதன் வடமுனை வடக்கு திசையை நோக்கியபடி இருக்குமாறு வைக்கவும். இந்நிலையில் காந்தத்தின் வடமுனைக்கு அப்பால் காந்த அச்சின் மீதுள்ள புள்ளிகளில் காணப்படும் கட்டைக்காந்தத்தின் புலச்செறிவு, புவிகாந்தப்புலச் செறிவின் போக்குடன் ஒத்திருக்கும். தென்முனைக்கு இப்பால் உள்ள புள்ளிகளில் காணப்படும் புலச்செறிவு, புவிகாந்தப்புலச் செறிவுக்கு எதிராக இருக்கும். எனவே வடமுனைக்கு அப்பாலுள்ள புள்ளிகளில் புவிகாந்தப்புலம் மற்றும் கட்டைக் காந்தப்புலம் இவற்றின் விளைபுலம் (resultant field) $= F + H$ எனவும், தென்முனைக்கு இப்பால் உள்ள புள்ளிகளில் விளைபுலம் $= F - H$ எனவும் கொள்ளுதல்வேண்டும்.

முதலில் அலைவு காந்தமானியைப் புவிகாந்தப் புலத்தில் ஆட்சியின் கீழ் அலைவுறச்செய்து, அலைவு எண் n_0-ஐக் கண்டறிய வேண்டும். பின் கட்டைக்காந்தத்தை அதன் வடமுனை வடக்கு நோக்கியவாறும், அதன் அச்சு புவிகாந்த அச்சுத் தளத்துடன் ஒன்றுமாறும் வைக்கவும். அலைவு காந்தமானியைக் கட்டைக் காந்தத்தின் அச்சுமீது அதன் வடமுனைக்கு அப்பால் d_1 செ. மீ. தூரத்தில் வைத்து அங்குக் காணப்படும் கூட்டுப்புலத்தின் ஆட்சியின் கீழ் அலைவுறச் செய்து அலைவு எண் n_1-ஐக் கண்டறிய வேண்டும். இவ்விடத்தில் விளைபுலத்தின் மதிப்பு $F_1 + H$ ஆகும். இங்கு F_1 என்பது கட்டைக்காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து

d_1 செ.மீ. தூரத்திலுள்ள புள்ளியில் காணப்படும் கட்டைக் காந்தப் புலத்தை மட்டும் குறிக்கிறது. H என்பது புவிகாந்தப் புலத்தை மட்டும் குறிக்கிறது.

புலச்செறிவு $\propto$ அலைவு எண் ^{2} என்று கண்டோம். ஆகவே,

$H = Kn_0^2$ என்றும்,

$F_1 + H = Kn_1^2$ என்றும் எழுதலாம். இங்கு K என்பது விகித மாறிலியாகும்.

$$\text{எனவே, } F_1 = Kn_1^2 - H$$
$$= Kn_1^2 - Kn_0^2$$
$$= K(n_1^2 - n_0^2)$$

இவ்வாறே d_2 செ.மீ. தூரத்தில் காணப்படும் புலச்செறிவு $F_2 = K(n_2^2 - n_0^2)$ ஆகும். எனவே, $F_1 : F_2 = (n_1^2 - n_0^2) : (n_2^2 - n_0^2)$.

(iii) நீண்ட பந்துமுனைக் காந்தத்தைப் பயன்படுத்தி இருமடி எதிர் விகித விதியை மெய்ப்பித்தல்

பந்துமுனைக் காந்தத்தின் ஒரு முனை அலைவு காந்தமானியின் தென் பக்கத்தில் d_1 செ.மீ. தூரத்தில் இருக்குமாறும், தென்முனை காந்தமானிக்கு நேர் மேலே இருக்குமாறும் மரத்தாங்கி ஒன்றில் காந்தத்தைப் பொருத்தி வைக்கவேண்டும். இந்நிலையில் காந்த மானி அலைவுறும் இடத்தில் உள்ள கூட்டுப் புலத்தின் செறிவு $\frac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2} + H$ ஆகும். இங்கு m என்பது பந்து முனைக் காந்தத்தின் முனை வலிமையையும் H என்பது புவி காந்தப்புலத்தின் செறிவையும் குறிக்கின்றன. இக் கூட்டுப் புலத்தின்கீழ்க் காணப்படும் அலைவு எண் n_1 என்றும் புவிகாந்தப் புலத்தின்கீழ்க் காணப்படும் அலைவு எண் n_0 என்றும் கொண்டால் மேற்கூறியவாறு,

$$\frac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2} + H = Kn_1^2 \text{ என்றும் } H = Kn_0^2 \text{ என்றும்}$$

எழுதலாம்.

$$\text{ஆகவே, } \frac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2} = Kn_1^2 - Kn_0^2$$

$$\text{அல்லது} \quad m = d_1^2 K(n_1^2 - n_0^2) \times 4\pi\mu_0$$

இவ்வாறே பந்துமுனைக் காந்தத்தின் வடமுனை, காந்தமானியிலிருந்து d_2 செ.மீ. தூரத்தில் இருக்கும்போது கூட்டுப்புலத்தின் கீழ்க் காணப்படும் அலைவு எண் n_2 என்றால்,

$$m = K\, d_2^2\, (n_2^2 - n_0^2) \times 4\pi\mu_0$$

எனவே, $d_1^2 (n_1^2 - n_0^2) = d_2^2 (n_2^2 - n_0^2) = m =$ மாறிலியாகும் என மெய்ப்பிக்கலாம். இவ்வாறே d_3, d_4.........ஆகிய தூரங்களில் வடமுனை இருக்குமாறு செய்து அப்போது காணப்படும் அலைவு எண்களாகிய n_3, n_4...........ஆகியவற்றைக் காணலாம்.

அப்போது,

$d_1^2 (n_1^2 - n_0^2) = d_2^2 (n_2^2 - n_0^2) = d_3^2 (n_3^2 - n_0^2)$...... = மாறிலி எனக்காட்டி அதன்மூலம் இருமடி எதிர் விகித விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

(iv) இரு கட்டைக் காந்தங்களின் திருப்புத்திறனை (Moment) ஒப்பிட்டறிதல் (கூட்டிக் கழிக்கும் முறை)

M_1, M_2 என்னும் திருப்புதிறன் கொண்ட இரு கட்டைக் காந்தங்களையும் ஒன்றின்மீது ஒன்றாகவும், சமச் சீராகவும், வடமுனைகள் ஒரே போக்காக இருக்குமாறும் கட்டி, முறுக்கற்ற மெல்லிய பட்டு இழையில் தொங்கவிடவேண்டும். காற்றினால் அலைவுகள் பாதிக்கப்படாதவாறு இவ்வமைப்பு கண்ணாடிப் பெட்டிக்குள் இருக்கவேண்டும். இவ்வமைப்பு புவி காந்தப் புலத்தின்கீழ் அலைவுறும்போது, அலைவு நேரம் T_1-ஐக் கண்டறிய வேண்டும். இந் நிலையில்,

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1 + I_2}{(M_1 + M_2)\, H}} \quad \ldots \quad (1)$$

இங்கு I_1, I_2 என்பன முறையே முதல், இரண்டாவது கட்டைக் காந்தங்களின் நிலைமத் திருப்புதிறனைக் (Moment of inertia) குறிக்கின்றன.

பின்னர், காந்தங்களின் மாறுபட்ட முனைகள் ஒரே போக்காக இருக்குமாறு, காந்தங்களை ஒன்றின்மீது ஒன்று சமச் சீராக இருக்குமாறு கட்டித் தொங்கவிட்டு, மறுபடியும் புவி காந்தப் புலத்தின் கீழ் அலைவுறச் செய்து அப்போதுள்ள அலைவு நேரம் T_2-ஐக் கண்டறிய வேண்டும். இந்நிலையில்,

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1 + I_2}{(M_1 - M_2)H}} \quad \dots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் 1, 2 ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}}$$ ஆகும் என அறியலாம்.

ஆகவே, $$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}$$

அல்லது, $$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2^2 + T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}$$

(v) **விலகு காந்தமானி, அலைவு காந்தமானி ஆகிய இரண்டையும் பயன்படுத்தி M, H ஆகியவற்றைக் காணல்.**

விலகு காந்தமானியை tan A நிலையில் அமைத்துப் பின், கட்டைக் காந்தத்தை d செ.மீ. தூரத்தில் வைத்துச் சராசரி திருப்பம் θ வைக் கணக்கிடவேண்டும். காந்தத்தின் காந்தத் திருப்பு திறன் M என்றும் அதன் நீளம் $2l$ என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{2Md}{4\pi\mu_0 (d^2 - l^2)^2} = H \tan\theta$$ என்றாகும்.

இதிலிருந்து, $$\frac{M}{H} = \frac{(d^2 - l^2)^2 \tan\theta \cdot 4\pi\mu_0}{2d} \quad \dots \quad (1)$$

இதேபோன்று காந்தத்தை வெவ்வேறு தூரங்களில் வைத்து d-ன் பல்வேறு மதிப்புகளுக்குரிய திருப்பத்தைக் கண்டுபிடித்து அதைக் கொண்டு $\frac{M}{H}$-ன் மதிப்பினைப் பெறலாம். இவ்வாறு பெற்ற $\frac{M}{H}$-ன் சராசரி x என்போம்.

மேலே விவரித்த செய்முறையில் பயன்படுத்திய அதே கட்டைக் காந்தத்தை அலைவு காந்தமானியில் கட்டித் தொங்க விட்டு, புவிகாந்தப்புலத்தின் ஆட்சியில் அதன் அலைவு நேரம் T-ஐக் காணவேண்டும். குறைந்தது நான்கு அல்லது ஐந்து முறைகள் அலைவு நேரத்தைக் கண்டறிந்து அவற்றின் சராசரியை எடுத்துக்கொள்ளுதல் வேண்டும். I என்பது கட்டைக் காந்தத்தின் நிலைமத் திருப்பு திறன் (moment of inertia) என்று கொண்டால்,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 I}{MH}$$

அஃதாவது,

$$MH = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \qquad \ldots \qquad (2)$$

இவ்வாறு கண்டறிந்த MH-ன் மதிப்பு y என்போம்.

$$\frac{M}{H} = x, \qquad MH = y.$$

எனவே $xy = M^2$

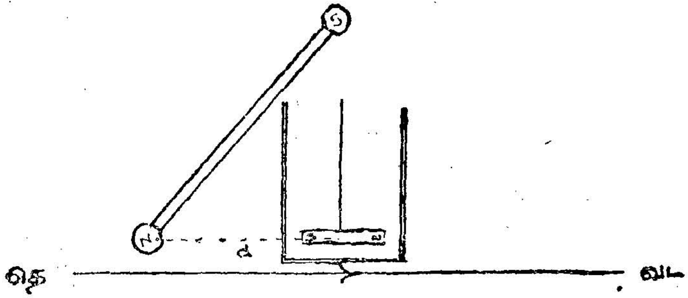
அல்லது $M = \sqrt{xy}$ ஆகும்

இவ்வாறே $\frac{y}{x} = H^2$

அல்லது $H = \sqrt{\frac{y}{x}}$

இவ்வாறு சட்டைக் காந்தத்தின் M மதிப்பினையும், புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறாகிய H-ன் மதிப்பினையும் பெறலாம்.

அலைவு காந்தமானி கொண்டு இருமடி எதிர் விகித விதியினைச் சரிபார்த்தல் :



படம் 141

சோதனை நடைபெறும் இடத்தில் புவி காந்தத்தளத்தின் போக்கினை வரைந்து அதன் மீது அலைவு காந்தமானியைப் பொருத்தவேண்டும். பந்துமுனைக் காந்தம் ஒன்றின் தென்முனை அலைவுறும் காந்த ஊசிக்கு நேர்மேலே இருக்குமாறும், வடமுனை காந்தத்தளக் கோட்டின்மீது ஊசிக்குத் தெற்குப் பக்கத்திலும், ஊசி தொங்குகின்ற அதே மட்டத்திலும் இருக்குமாறும் மரத் தாங்கி (wooden stand) ஒன்றில் பொருத்தி வைக்கவேண்டும்.

பந்துமுனைக் காந்தத்தின் தென்முனை ஊசிக்கு நேர் மேலே அமைந்திருப்பதனால் ஊசியின் அலைவு பாதிக்கப்படுவது இல்லை. ஆனால், ஊசிக்குத் தெற்கே d செ.மீ. தூரத்தில் இருக்கும் வடமுனை, ஊசி அலைவுறும் இடத்தில் $\frac{m}{d^2}$ அளவுடையதும், புவி காந்தத் துருவ தளத்தின் போக்கில் அமைந்துள்ளதுமான ஒரு புலத்தை உண்டாக்கும். எனவே, வடமுனையால் ஏற்பட்ட புலம், புவி காந்தப்புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு இவ்விரண்டின் தொகு பயன் விளை புலத்தில் (resultant field) ஊசி அலைவுறும். புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு H என்றும் வடமுனை தரும் காந்தப் புலத்தின் அளவு F என்றும் கொள்வோம்.

புவி காந்தப் புலத்தில் மட்டும் ஊசி அலைவுறும்போது கணக்கிட்ட அலைவு நேரம் T_1 என்றும், புவிகாந்தப் புலம் மற்றும் வடமுனை தந்த காந்தப்புலம் ஆகியவற்றின் விளைவுப்புலத்தில் அலைவுறும்போது கணக்கிட்ட அலைவு நேரம் T_2 என்றும் கொண்டால்,

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}}$$

$$\therefore H = \frac{4\pi^2 I}{M T_1^2} \qquad \dots (1)$$

இவ்வாறே

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M(H+F)}}$$

$$H + F = \frac{4\pi^2 I}{M T_2^2} \qquad \dots (2)$$

சமன்பாடு 2-லிருந்து சமன்பாடு 1-ஐக் கழிக்க,

$$F = \frac{4\pi^2 I}{M}\left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2}\right)$$

ஆனால் இருமடி எதிர் விகித விதியின்படி,

$$F = \frac{m}{4\pi\mu_0 d^2}$$

எனவே, $$F = \frac{m}{4\pi\mu_0 d^2} = \frac{4\pi^2 I}{M}\left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2}\right)$$

$$\therefore m = 4\pi\mu_0 d^2 \frac{4\pi^2 I}{M}\left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2}\right)$$

காந்த அழுத்தம் (Magnetic Potential)

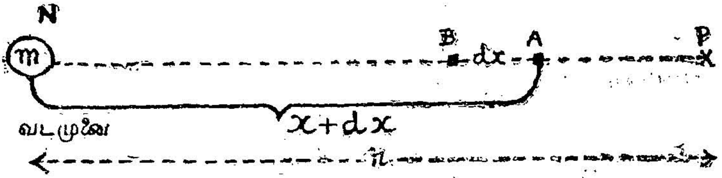
m வெஃப்பர் முனை வலிமை கொண்ட வடமுனை ஒன்று வெற்றிடத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதனால் ஏற்படும் காந்தப்புலம் அம்முனையைச் சுற்றி நாலாபுறமும் பரவிக்கிடக்கும்; அம்முனையிலிருந்து எட்டிச் செல்லச் செல்லக் காந்தப்புலத்தின் செறிவு குறைந்து கொண்டே சென்று குறிப்பிட்ட ஒரு தூரத்தில் சுழியாகிவிடுமல்லவா ? அப்படிப்பட்ட ஒரு தூரம் காந்தவியலில் வரம்பிலா நெடுந்தூரம் (infinity) என்றழைக்கப்படுகிறது.

மேலே குறிப்பிட்ட வரம்பிலா நெடுந்தூரத்திலிருந்து காந்தப் புலத்திலுள்ள A என்ற ஒரு புள்ளிக்கு ஓரலகு வடமுனை ஒன்றை எடுத்துவரவேண்டும் என்றால் புலத்தின் எதிர்ப்பு விசைக்கு எதிராக ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள வேலை செய்தாக வேண்டுமல்லவா ? இவ்வாறு செய்யப்படும் வேலை A என்ற அப்புள்ளியின் காந்த அழுத்தம் எனக் கொள்ளப்படுகிறது. B என்ற இன்னொரு புள்ளி, m என்ற புலந்தரும் முனைக்கு Aஐவிட அருகில் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். நெடுந்தொலைவிலிருந்து அலகு முனையை B-க்கு எடுத்து வரச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவு, A-க்கு எடுத்து வரச் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவைவிட அதிகமாக இருக்கும். அதாவது, Aஐ விட B-ல் காந்த அழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும்.

வரையறை : வரம்பிலாத் தொலை தூரத்திலிருந்து ஒரு வெஃப்பர் வலிமையுடைய வடமுனை ஒன்றை காந்தப்புலத்திலமைந்த ஒரு புள்ளிக்கு எடுத்து வருவதற்குச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவே அப் புள்ளியிலுள்ள காந்த அழுத்தமாகும்.

காந்த அழுத்தம் என்பது வேலையை வைத்து அளவிடப்படுவதால் வேலையைப் போன்றே இதுவும் ஓர் அளவு வழிப்பட்ட ஒன்றே ஆகும்.

m வெஃப்பர் வலிமையுடைய வடமுனை ஒன்று N என்ற புள்ளியில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. P என்பது மேற்கூறிய வடமுனை



படம் 142

யினால் உண்டான காந்தப்புலத்தில் r மீட்டர் தூரத்திலமைந்த ஒரு புள்ளியாகும்.

A மற்றும் B என்பன ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகே, காந்தப் புலத்திலமைந்த இரு புள்ளிகள் அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரம் dx. அவை இரண்டிற்கும் இடையே உள்ள பகுதியில் காந்தப்புலம் சீராக இருப்பதாகவும் அதன் மதிப்பு H என்றும் கொள்க.

ஓரலகு வடமுனையை A-ல் இருந்து B-க்குக் கொண்டுவரச் செய்யப்படவேண்டிய வேலை $= -Hdx$ (விசைக்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுவதால் $-$ குறி பெற்றது)

$$\text{ஆனால் } H = \frac{m}{4\pi\mu_0 x^2}$$

$$\text{எனவே } -Hdx = -\frac{m}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{dx}{x^2}$$

இது A மற்றும் B என்ற இரு புள்ளிகளுக்குமிடையே உள்ள காந்த அழுத்த வேறுபாட்டைக் குறிக்கும். இதனை dv என்று குறித்தால்,

$$dv = -\frac{m}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{dx}{x^2}$$

P என்ற புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் காண்பதற்கு மேற்கூறிய சமன்பாட்டை $x=\infty$ மற்றும் $x=r$ என்ற இரு எல்லைகளுக்கு இடையே தொகுக்க (integrate) வேண்டும்.

$$\int dv = V = \int_{\infty}^{r} - \frac{m}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{dx}{x^2}$$

$$V = \frac{m}{4\pi\mu_0}\int_{\infty}^{r} - \frac{dx}{x^2}$$

$$= \frac{m}{4\pi\mu_0}\left[\frac{1}{x}\right]_{\infty}^{r}$$

$$V = \frac{m}{4\pi\mu_0 r}\left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right] \quad \because \frac{1}{\infty} = 0$$

$$= \frac{m}{4\pi\mu_0 r}$$

இவ்வாறே m வலிமையுடைய தென்முனையிலிருந்து r தூரத்தில் உள்ள புள்ளியில் காணப்படும் காந்த அழுத்தம்,

$$= - \frac{m}{4\pi\mu_0 r}$$

கட்டைகாந்தம் ஒன்றின் அச்சிலமைந்த ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் காந்த அழுத்தம்

m முனை வலிமைகொண்ட $2l$ நீளமுடைய ஒரு கட்டை காந்தத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் அச்சின்மீது P என்ற புள்ளி, காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து d தூரத்தில் உள்ளது.

P என்ற புள்ளியில் வடமுனையினால் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= \dfrac{m}{4\pi\mu_0 (d-l)}$

P என்ற புள்ளியில் தென்முனையினால் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= - \dfrac{m}{4\pi\mu_0 (d+l)}$

∴ கட்டை காந்தத்தினால் P-ல் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம்

$$= \frac{m}{4\pi\mu_0}\left[\frac{1}{(d-l)} - \frac{1}{(d+l)}\right]$$

$$= \frac{2lm}{4\pi\mu_0 (d^2 - l^2)}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 (d^2 - l^2)}$$

கட்டை காந்தம் மிகமிகக் குறைந்த நீளமுடையது என்றால் அதாவது $d^2 >> l^2$, l^2ஐ விட்டுவிடலாம். அப்போது அதன் காந்த அழுத்தம் $= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^2}$

கட்டை காந்தத்தின் நடுக்குத்துக் கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்

m முனைவலிமையுடைய NS என்ற கட்டை காந்தத்தின் நீளம் $2l$ என்க. Q என்பது அதன் நடுக்குத்துக் கோட்டின் மீது அமைந்த ஒரு புள்ளி.

Q-ல் வடமுனையினால் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம் $= \frac{m}{4\pi\mu_0 . NQ}$

Q-ல் தென் முனையினால் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம் $= -\frac{m}{4\pi\mu_0 QS}$

எனவே முழுகாந்தத்தினாலும் Q-ல் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= \frac{m}{4\pi\mu_0}\left[\frac{1}{NQ} - \frac{1}{QS}\right]$

ஆனால் Q நடுக்குத்துக் கோட்டில் அமைந்திருப்பதால் $QN = QS$ ஆகும். எனவே,

முழு காந்தத்தினால் Q-ல் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= \frac{m}{4\pi\mu_0}\left[\,0\,\right]$

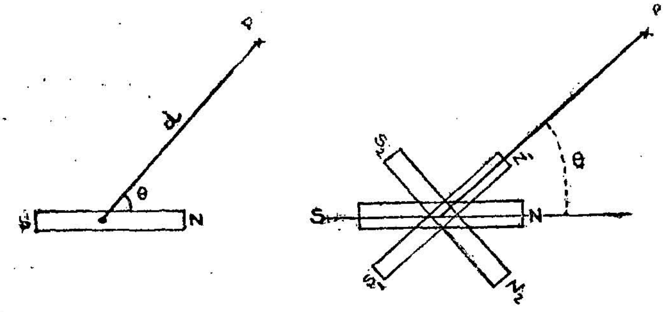
$$= 0$$

எனவே, கட்டை காந்தத்தின் மையக்குத்துக் கோட்டிலமைந்த எல்லா புள்ளிகளிலும் காந்த அழுத்தம் சுழியாகவே இருக்கும்.

கட்டை காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து d தூரத்தில் எங்கோ ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் காந்த அழுத்தம்

NS என்பது மிகக் குறைந்த நீளமுடைய ஒரு கட்டைக் காந்தம். அதன் திருப்புத்திறன் M என்க. O என்பது அதன் மையப்புள்ளி.

அந்த காந்தம் தரும் காந்தப்புலத்தில் P என்பது ஒரு புள்ளி. OP என்ற கோடு கட்டை காந்தம் NS-ன் அச்சிலிருந்து θ சாய்ந்துள்ளது.



படம் 143

NS என்ற காந்தத்தின் திருப்புத்திறன் M-ஐ $M \cos \theta$ என்ற கூறாக OP என்ற திசையிலும் $M \sin \theta$ என்ற கூறாக OP-க்குச் செங்குத்தான திசையிலும் பிரிக்கலாம். அதாவது NS என்ற காந்தம் $M \cos \theta$ திருப்புத்திறன் கொண்டு OP திசையில் அமைந்த N_1S_1 என்ற ஒரு காந்தம் மற்றும் $M \sin \theta$ திருப்புத்திறன் கொண்டு OP-க்குச் செங்குத்துத் திசையில் அமைந்த N_2S_2 என்ற மற்றொரு காந்தம் இவற்றின் கூட்டாகக் கருதலாம்.

எனவே P என்ற புள்ளியில் N_1S_1 ஆல் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= \dfrac{M \cos \theta}{4\pi\mu_0 d^2}$

P-ல் N_2S_2 என்ற காந்தத்தால் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் = 0 ஆகும்.

எனவே கட்டை காந்தம் NS ஆல் P என்ற புள்ளியில் உண்டாகும் காந்த அழுத்தம் $= \dfrac{M\cos \theta}{4\pi\mu_0 d^2}$

குறிப்பு

1) மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் θ = 0 என்று பதிலீடு செய்ய மிக மிகக் குறைந்த நீளமுடைய கட்டை காந்தத்தின் அச்சிலுள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் கிடைக்கும்.

$$\frac{M \cos 0^\circ}{4\pi\mu_0 d^2} = \frac{M}{4\pi\mu_0 d^2}$$

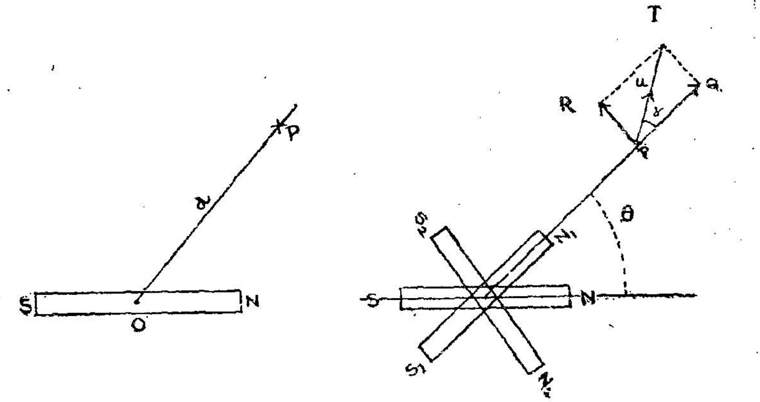
2) $\theta = 90°$ என்று பதிலீடு செய்ய மிக மிகக் குறைந்த நீள முடைய கட்டை காந்தத்தின் நடுக்குத்துக் கோட்டிலமைந்த புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் கிடைக்கும்.

$$\frac{M \cos 90}{4\pi\mu_0 d^2} = 0$$

மிகக் குறைந்த நீளமுடைய கட்டைக் காந்தத்தின் மையத்திலிருந்து d தூரத்தில் எங்கோ ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் புலச் செறிவு

NS என்பது M என்ற திருப்புத்திறன் கொண்ட மிகக் குறைந்த நீளமுடைய ஒரு கட்டைக் காந்தம். O என்பது அதன் மையம். P என்பது O-லிருந்து d மீட்டர் தூரத்தில் எங்கோ ஓரிடத்தில் உள்ள புள்ளி. OP என்பது NS-ன் அச்சிலிருந்து $\theta°$ சாய்ந்துள்ளது.

M என்ற திருப்புத்திறனை OP என்ற திசையில் $M \cos \theta$ என்ற கூறுகவும், OP-க்குச் செங்குத்தான திசையில் $M \sin \theta$ என்ற கூறுகவும் பிரிக்கலாம். எனவே NS என்ற காந்தம் $M \cos \theta$ திருப்புத்திறன் கொண்டு OP என்ற திசையில் அமைந்த N_1S_1 என்ற காந்தம், மற்றும் $M \sin \theta$ திருப்புத் திறன் கொண்டு OP-க்குச் செங்குத்தான திசையில் அமைந்த N_2S_2 என்ற காந்தம் ஆகிய வற்றின் தொகுப்பாக நினைக்கலாம்.



படம் 144

P என்பது N_1S_1 காந்தத்தின் அச்சில் அமைவதால் P-ல் N_1S_1 தரும் புலச்செறிவு $\Big\} = \dfrac{2M\cos\theta}{4\pi\mu_0 d^3}$

இது PQ என்ற திசையில் அமையும்.

P என்பது N_2S_2 காந்தத்தின் நடுக்குத்துக் கோட்டில் அமைவதால் P-ல் N_2S_2 தரும் புலச் செறிவு $\Big\} = \dfrac{M\sin\theta}{4\pi\mu_0 d}$

இது PR என்னும் திசையில் அமையும். படத்தில் PQ மற்றும் PR என்பன அளவாலும் திசையாலும் $\frac{2\,M\cos\theta}{4\pi\mu_0 d^3}$ மற்றும் $\frac{M\sin\theta}{4\pi\mu_0 d^3}$ என்ற புலச் செறிவுகளைக் குறிப்பதாகக் கொண்டால் இணைகர விதியின்படி PQ TR என்ற செவ்வகத்தின் மூலைவட்டம் PT என்பது மேற்கூறிய இரு புலச் செறிவுகளின் விளைவுச் செறிவினைத் தரும்.

$$F^2 = PT^2 = PQ^2 + PR^2$$

$$F = \sqrt{PQ^2 + PR^2}$$

$$= \sqrt{\frac{4M^2\cos^2\theta}{(4\pi\mu_0 d^3)^2} + \frac{M^2\sin^2\theta}{(4\pi\mu_0 d^3)^2}}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{4\cos^2\theta + \sin^2\theta}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{4\cos^2\theta + (1-\cos^2\theta)}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{3\cos^2\theta + 1}$$

இவ்விளைவுப் புலச்செறிவு OPன் திசையிலிருந்து α என்ற கோணத்தில் சாய்ந்திருப்பதாகக் கொள்வோம்.

$$\tan\alpha = \frac{M\sin\theta}{4\pi\mu_0 d^3} \div \frac{2M\cos\theta}{4\pi\mu_0 d^3}$$

$$= \frac{M\sin\theta}{4\pi\mu_0 d^3} \times \frac{4\pi\mu_0 d^3}{2M\cos\theta}$$

$$\tan\alpha = \tfrac{1}{2}\tan\theta$$

குறிப்பு

i) P என்பது குறைந்த நீளமுள்ள கட்டை காந்தத்தின் அச்சின் மீதுள்ள புள்ளியானால் $\theta = 0$ ஆகும். எனவே மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் $\theta = 0$ என பதிலீடு செய்ய,

$$F = \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{3\cos 0 + 1}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{4}$$

$$= \frac{2M}{4\pi\mu_0 d^3}$$

$$\tan\alpha = \tfrac{1}{2}\tan 0^{\circ}$$

$$= 0$$

$$\therefore \alpha = 0$$

ஆகவே விளைவுப்புலச் செறிவு OP என்ற திசையிலேயே அமையும்.

ii) P என்பது குறைந்த நீளமுடைய கட்டை காந்தத்தின் நடுக்குத்துக் கோட்டின் மீது அமைந்த ஒரு புள்ளியானல் $\theta = 90^{\circ}$ ஆகும். எனவே மேற்கூறிய சமன்பாடுகளில் $\theta = 90^{\circ}$ பதிலீடு செய்ய,

$$F = \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3}\sqrt{3\cos 90 + 1}$$

$$= \frac{M}{4\pi\mu_0 d^3} \text{ ஆகும்.}$$

$$\tan\alpha = \tfrac{1}{2}\tan 90^{\circ}$$

$$= \infty$$

$$\therefore \alpha = 90^{\circ} \text{ ஆகும்}$$

எனவே விளைவுப்புலம் OPன் திசையிலிருந்து 90° சாய்ந்திருக்கும் அதாவது காந்தத்தின் அச்சுக்கு இணையாக இருக்கும்.

பொருள்களின் காந்தவியல் பண்புகள்

(Magnetic properties of materials)

காந்தத் தூண்டல்
(Magnetic induction)

காந்தப் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் புலச்செறிவு காண, அப் புள்ளியில் ஓர் அலகு முனைவலிமை கொண்ட வடமுனை ஒன்றை வைத்து அதன்மீது செயற்படும் விசையின் அளவினைக் காண வேண்டும் என அறிவோம். விசையின் அளவு H நியூட்டன்கள் என்றால் அவ் விசையின் திசையில் காந்தப்புலச் செறிவு H ஆம்பியர் சுற்று எனக் கூறினோம். காந்தப் புலத்தின் செறிவினை விசைக் கோடுகளைக் (lines of force) கொண்டும் குறிப்பதுண்டு. ஓர் அலகுப் பரப்பும், காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாகவும் இருக்கும் இடத்தின் வழியாக எத்தனை விசைக் கோடுகள் செல்லுகின்றனவோ, அதுவே அவ்விடத்தின் காந்தப்புலச் செறிவாகும். எடுத்துக்காட்டாக *H* காந்தப்புலச் செறிவுள்ள இடத்தில் ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பும், புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாகவும் அமைந்த இடத்தின் வழியே H விசைக் கோடுகள் செல்லும். எந்த ஒரு காந்தப்புலத்திலும் புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக உள்ள ஒரு பரப்பினைக் கடந்து செல்லும் மொத்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அப் பரப்பின் மீதுள்ள காந்தப் பாயம் (Magnetic flux) எனப்படும்.

H செறிவுள்ள சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றின் போக்கில் தேனிரும்புத் துண்டு (soft iron piece) ஒன்றை வைப்போம். காந்தத் தூண்டலின் காரணமாக இரும்புத் துண்டு காந்தப் பண்புகளை அடையும் என அறிவோம். இப்போது இரும்புத் துண்டு வழியாகச் செல்லும் விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை

இரு விஷயங்களைப் பொருத்திருக்கிறது. அஃதாவது (1) இரும்புத் துண்டு வைக்கப்படுவதற்கு முன்னுல் அஃது இருக்குமிடத்தின் வழியே சென்ற விசைக் கோடுகளையும், (2) காந்தத் தூண்டல் காரணமாக இரும்புத் துண்டு பெற்ற ஆற்றலினுல் உண்டாகும் விசைக் கோடுகளையும் பொருத்திருக்கின்றது. அத்துண்டின், ஓர் அலகுப் பரப்பும் புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாகவும் அமைந்த பகுதியின் வழியாகச் செல்லும் மொத்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை காந்தத் தூண்டல் (Magnetic induction) எனப்படுகிறது. இது B என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

மேற் கூறிய இரும்புத்துண்டு காந்தத் தூண்டல் காரணமாக m என்னும் முனை வலிமை பெறுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். காஸ் தேற்றத்தின்படி m என்ற முனை வலிமை கொண்ட ஒரு வட முனையிலிருந்து வெளிக் கிளம்புகின்ற அல்லது தென் முனையினுள் சென்று அடைகின்ற விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை m என அறிவோம். இதே எண்ணிக்கையுடைய கோடுகள் இரும்புத் துண்டினுள் தென் முனையிலிருந்து வடமுனை நோக்கிச் செல்லும் என்பதும் நாம் உணரக் கூடிய ஒன்றே.

இரும்புத் துண்டின் குறுக்குப் 'பரப்பு a ச.மீ. என்ருல் காந்தத் தூண்டுதலுக்குக் காரணமான புலத்தின் H என்ற செறிவினுல் இரும்புத் துண்டின் வழியே $\mu_o Ha$ விசைக் கோடுகள் செல்ல வேண்டும். இப்போது துண்டு அடைந்துள்ள முனை வலிமை காரணமாக m விசைக் கோடுகள் அவ் விரும்புத் துண்டின் வழியே செல்லும். ஆகவே இரும்புத் துண்டின் வழியே செல்லும் மொத்த விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை $\mu_o Ha+m$ ஆகும். எனவே ஒரு ச. மீ. குறுக்குப் பரப்பு வழியே செல்லும் விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அஃதாவது காந்தத் தூண்டல்,

$$B = \frac{\mu_o Ha+m}{a}$$

$$= \mu_o H + \frac{m}{a}$$

$$= \mu_o H + I$$

இங்கு I என்பது இரும்புத் துண்டில் தூண்டப்பட்ட காந்தமாக்கற் செறிவு (intensity of magnetisation). காந்தமாக்கற் செறிவு என்பது காந்தத் தன்மை பெற்ற உலோகத் துண்டு பெற்ற முனைவலிமைக்கும் அதன் குறுக்குப் பரப்பிற்குமுள்ள விகிதமாகும்.

காந்தக் கடத்து திறன் (magnetic permiability) : ஓர் ஊடகத்தின் காந்தக் கடத்துதிறன் என்பது ஒரு துண்டின் காந்தத்தூண்டலுக்கும் அதனைக் காந்தமாக்கும் புலத்தின் செறிவுக்கும் உள்ள விகிதமாகும். இது μ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\mu = \frac{B}{H} \qquad B = \mu_o H \quad (\text{காற்றில்})$$
$$B = \mu H \quad (\text{ஊடகத்தில்})$$
$$= \mu_0 \mu_r H$$

எடுத்துக்காட்டாக ஓர் இடத்தின் வழியே ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பின் வழியே 20 விசைக் கோடுகள் செல்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். இரும்புத் துண்டை அவ்விடத்தில் வைத்த பின்பு இரும்புத் துண்டின் வழியே 1800 விசைக் கோடுகள் செல்வதாக வைத்துக் கொள்வோம். இங்கு $H = 20$ ஆகும். $B = 1800$ ஆகும். எனவே இரும்புத் துண்டின் காந்தக் கடத்து திறன் $= \frac{1800}{20} = 90$ ஆகும். இவ்வாறே ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் ஒரு காந்தக் கடத்து திறன் உண்டு. காற்றின் சார்பு காந்தக் கடத்து திறன் ஒன்று எனக் கொள்ளப்படுகிறது.

காந்த ஏற்புத்திறன்
(Magnetic susceptibility)

ஒரு பொருளின் காந்தமாக்கற் செறிவுக்கும், அதனைக் காந்தமாக்கும் புலத்திற்குமுள்ள விகிதம் அப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறன் எனப்படும். இது K என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. H என்ற புலத்தில் வைக்கப்பட்ட பொருள் பெற்ற காந்தமாக்கற் செறிவு I என்றால்

$$K = \frac{I}{H} \text{ ஆகும்}$$

மேலும் $B = \mu_0 H + I$

ஆனால் $\mu = \frac{B}{H} = \frac{\mu_o H}{H} + \frac{I}{H}$

$$\mu = \mu_o + \frac{I}{H}$$
$$= \mu_o + K$$
$$\mu = \mu_o \mu_r \quad \therefore \quad \mu_o \mu_r = \mu_o + K$$

காற்றில் $K = O \quad \therefore \quad \mu_o \mu_r = \mu_o \because \mu_r = 1$

காந்தப் பொருள்கள்

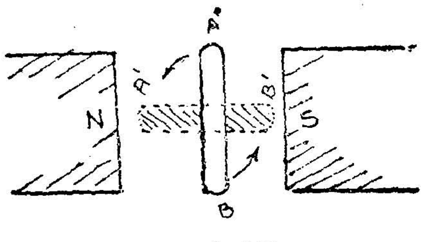
எல்லாப் பொருள்களும் ஓரளவுக்கேனும் காந்தவியற்பண்பு கொண்டனவே ஆகும். காந்தவியற் பண்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு பொருள்களை மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம். அவை யாவன :— (1) ∴பெரோ காந்தப் பொருள்கள் (அயகாந்தப் பொருள்கள் என்றும் கூறுவர்) (2) பராகாந்தப் பொருள்கள் (இணைகாந்தப் பொருள்கள் என்றும் கூறுவர்) மற்றும் (3) டையா காந்தப் பொருள்கள் (குறுக்குக் காந்தப் பொருள்கள் என்றும் கூறுவர்)

∴பெரோ காந்தப் பொருள்கள் (Ferro Magnetic)

இரும்பு, நிக்கல் மற்றும் கோபால்ட் ஆகிய பொருள்கள் மிகுந்த காந்தக் கடத்து திறனுடையவை. இவை ∴பெரோ காந்தப் பொருள்கள் எனப்படுகின்றன.

பரா காந்தப் பொருள்கள் (Para magnetic)

இவ் வகைப் பொருள்களை ஒரு காந்தப் புலத்தில் தொங்க விட்டால் குறைந்த புலச் செறிவுள்ள இடத்திலிருந்து மிகுந்த செறிவுள்ள இடத்தை நோக்கித் திரும்பும்.



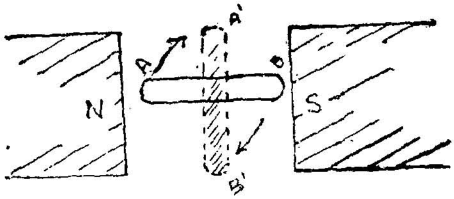
படம் 145

படத்திலுள்ள *AB* என்ற பராகாந்தப் பொருள் குறுக்காகத் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது *A*, *B* என்ற முனைகள் செறிவு குறைந்த இடத்திலிருந்து செறிவுமிக்க இடத்திற்குப் படத்தில் அம்புக்குறி காட்டியவாறு திரும்பிப் புலத்தின் போக்கிற்கு வரமுயலும். இவை புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாகத் திரும்ப முயல்வதால் இணை காந்தம் என்பாரும் உண்டு. எடுத்துக்காட்டு: மாங்கனீஸ், அலுமினியம், சோடியம்.

டையா காந்தப் பொருள்கள் (Dia magnetic)

இவ்வகைப் பொருள்களை காந்தப் புலத்தில் தொங்கவிட்டால் அவை மிகுந்த செறிவுள்ள இடத்திலிருந்து குறைந்த செறிவுள்ள

இடத்தை நோக்கித் திரும்பும். 146ஆம் படத்தில் AB என்ற நிலையிலிருக்கும் டையாகாந்தப் பொருள் A' B' என்ற நிலைக்குத்



படம் 146

திரும்பும். இவை காந்தப்புலத்தில், புலத்தின் போக்கிற்குக் குறுக்காக நிற்பதால் குறுக்குக் காந்தம் என்பாரும் உண்டு.

எடுத்துக் காட்டு :— பிஸ்மத், பாஸ்பரஸ், ஆன்டிமணி போன்றவை.

பராகாந்தப் பொருள்களின் காந்தக் கடத்து திறன் ஒன்றை விட அதிகமாக இருக்கும். $\mu = \frac{B}{H}$ என்னும் சமன்பாட்டில் பராகாந்தப் பொருள்களுக்கு $B > H$ ஆக இருக்கும். டையாகாந்தப் பொருள்களின் காந்தக் கடத்துதிறன் ஒன்றை விடக் குறைவாக இருக்கும். அஃதாவது $B < H$ ஆக இருக்கும்.

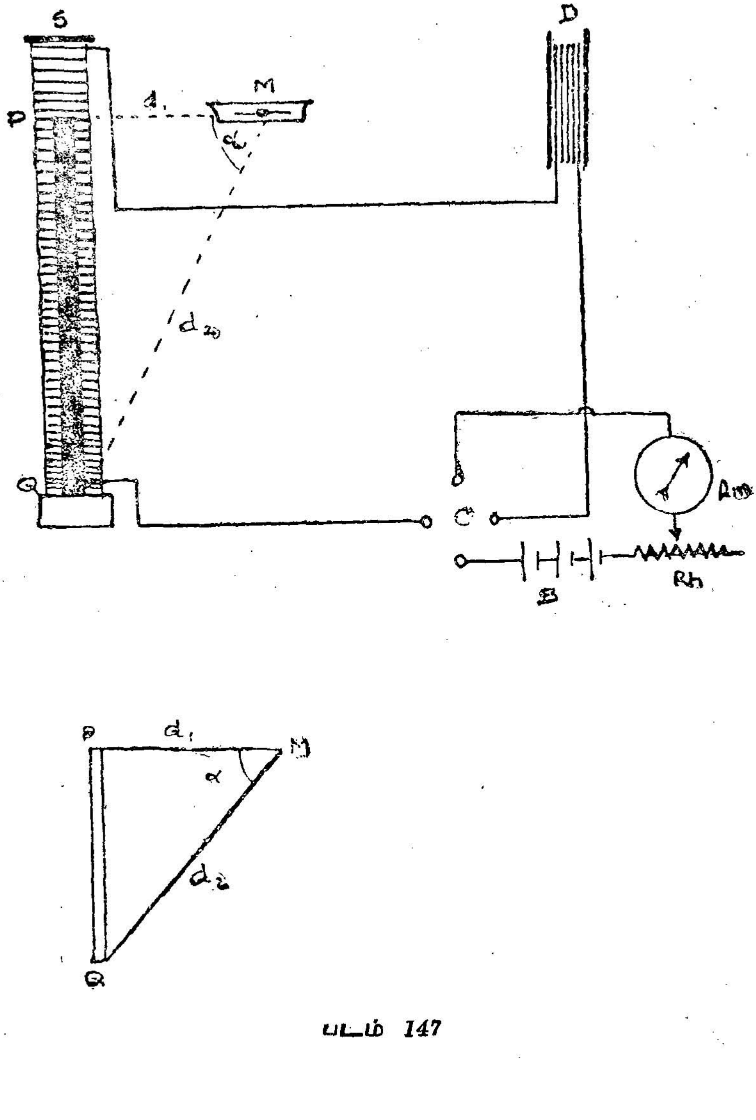
காந்தமாக்கற் செறிவும் காந்தமாக்கும் புலமும்

S என்ற வரிச்சுருள் (solenoid) D என்ற ஈடு செய்யும் சுருள் (compensating coil) ஆகியவை மின்கல அடுக்கு, மின்தடை மாற்றி (rheostat), அம்மீட்டர் (ammeter), திசைமாற்றும் சாவி (reversing key) ஆகியவற்றுடன் தொடர்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. S என்ற வரிச்சுருள் செங்குத்து நிலையில் இருக்கிறது. சோதனைக்குட் படுத்த வேண்டிய பொருளாகிய இரும்புத் துண்டு PQ வரிச் சுருளின் அச்சில் வைக்கப்படவேண்டும். ஈடு செய்யும் சுருள், கிடைமட்டத்தில் வைக்கப்பட்டு அதன் அச்சு இரும்புத் துண்டின் மேல்நுனியுடன் ஒரே கிடைமட்டக் கோட்டிலிருக்குமாறு சீர் செய்யப்படுகிறது. இவை இரண்டிற்குமிடையே அதே கிடைமட்டக் கோட்டிலிருக்குமாறு விலகு காந்தமானி (deflection magnetometer) ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

தொடக்கத்தில் இரும்புத் துண்டை வெளியே, எடுத்துவிட்டு சுற்றில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்ச வேண்டும். திருப்பம் தரும்

காந்தமானியைக் கிடைமட்டக் கோட்டில் இங்குமங்கும் நகர்த்தி அதிலுள்ள திருப்பத்தினைச் சுழியாக்கவேண்டும்; இந் நிலையில் செங்குத்தாக உள்ள வரிச்சுருள் தரும் புலமும், ஈடுசெய் சுருள் தரும் புலமும் ஒன்றை ஒன்று ஈடு செய்துவிட்டன.

இரும்புத் துண்டை நல்ல உயரத்திலிருந்து பலமுறை வெறுந் தரையில் ஓங்கி அறைந்து அல்லது தீயில் காய்ச்சி அதில் ஏதேனும் காந்த ஆற்றல் இருப்பின் அதை நீக்கிவிடவேண்டும்.



படம் 147

பின்னர் இரும்புத் துண்டைச் செங்குத்து வரிச் சுருளினுள் படத்தில் (படம் 1.7) காட்டியவாறு வைக்கவேண்டும். மின்தடை மாற்றியின் உதவியால் சுற்றில் 0.2 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்ச்சவேண்டும். இப்போது வரிச் சுருளினுள் ஏற்படும் காந்தப் புலத்தினால் காந்தமாக்கப்படும் இரும்புத் துண்டு திருப்பம் தரும் காந்தமானியில் திருப்பங்களை உண்டாக்குகிறது. அலுமினியக் குறிமுள்ளின் உதவியால் அத் திருப்பங்களை அறியலாம். இவ்வாறே மின்னோட்டத்தை 0.2 ஆம்பியர் அளவில் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லவேண்டும். ஒவ்வொரு முறையும் மின்னோட்டத்தை அதிகரிக்கும்போதும் அதற்குரிய திருப்பத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவ்வாறு 0—3 ஆம்பியர் வரை செல்லவேண்டும். காந்தமானியில் மாற்றமில்லாத நிலை ஏற்பட்டுவிட்டால் இரும்புத் துண்டு தெவிட்டு நிலை (saturation) அடைந்து விட்டதாகப் பொருள். பின்னர் மின்னோட்டத்தை 0.2 ஆம்பியர் வீதம் குறைத்துக் கொண்டே செல்லவேண்டும். மின்னோட்டம் சுழியளவை எட்டியபோதும் காந்தமானி ஓரளவு திருப்பம்காட்டும். பின்னர் மின்னோட்டத்தை எதிர்த்திசையில் பாயச் செய்யத் திசை திருப்பும் சாவியைப் பயன்படுத்தவேண்டும். முன்போலவே 0 ஆம்பியரிலிருந்து —3 ஆம்பியர் வரைசென்று பின்னர் —3 லிருந்து 0 ஆம்பியர்வரை வரவேண்டும். அங்கு மீண்டும் திசை திருப்பும் சாவியைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டத்தை நேர்த்திசையில் ஓடச் செய்து 0—3 ஆம்பியர்வரை செல்லவேண்டும்.

ஏதோ ஒரு நிலையில் இரும்புத் துண்டு பெற்றுள்ள முனை வலிமை m என்னும் காந்தமானியிலிருந்து இரும்புத் துண்டின் முனைகளாகிய P, Q என்பன முறையே d_1, d_2 என்னும் தூரங்களில் இருப்பதாகவும் அப்போது சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு C ஆம்பியர்கள் என்றும், காந்தமானி காட்டும் திருப்பம் θ என்றும் கொள்வோம்.

PMQ என்ற முக்கோணத்தில் $PM = d_1$, $QM = d_2$

$\underline{|PMQ} = \alpha$

P என்ற வடமுனை PM என்னும் திசையில் M என்ற புள்ளியில் தருகின்ற விசையின் அளவு $= \dfrac{m}{4\pi\mu_0 d_1^2}$ நியூட்டன்கள். Q என்ற தென்முனை MQ என்ற திசையில் M என்ற புள்ளியில் தருகின்ற விசையின் அளவு,

$$= \frac{m}{4\pi\mu_0 d_2^2}$$

MP என்ற திசையில் இதன் கூறு $\frac{m}{4\pi\mu_0 d_2^2}$ Cos α

$$= \frac{m}{4\pi\mu_0 d_2^2} \times \frac{d_1}{d_2}$$

ஆகவே M-ல் உண்டாகும் விளைவு விசை$_4$

$$= \frac{1}{4\pi\mu_0}\left[\frac{m}{d_1^2} - \frac{md_1}{d_2^3}\right] \text{ நியூட்டன்கள்}$$

காந்தமானியில் இப்போது காணப்படும் திருப்பம் θ ஆகையால், F = H_0 tan θ ஆகும். இங்கு H_0 என்பது புவி காந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு ஆகும். எனவே.

$$\frac{I}{4\pi\mu_0}\left[\frac{m}{d_1^2} - \frac{md_1}{d_2^3}\right] = H_0 \tan\theta$$

$$\frac{md_1}{4\pi\mu_0}\left[\frac{1}{d_1^3} - \frac{1}{d_2^3}\right] = H_0 \tan\theta$$

$$\therefore \quad m = \frac{H_0 \tan\theta \times 4\pi\mu_0}{d_1\left[\frac{1}{d_1^3} - \frac{1}{d_2^3}\right]}$$

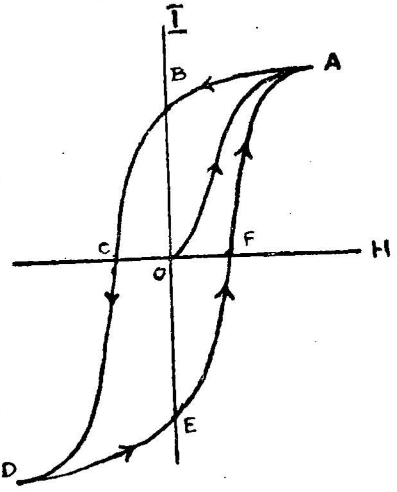
நாம் எடுத்துக்கொண்ட இரும்புத் துண்டின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு a ச.மீ. என்றால் $I = \frac{m}{a}$ ஆகும். இவ்வாறு காந்தமாக்கற் செறிவு I-ஐக் கணக்கிடலாம். இதற்குரிய காந்தமாக்கும் புலத்தின் செறிவு H என்றால்,

H = $n\,c$ ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர் ஆகும். இங்கு n என்பது வரிச் சுருளில், ஒரு மீட்டரில் சுற்றப்பட்டிருக்கும் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கையையும், C என்பது மின்னோட்டத்தின் அளவினை ஆம்பியர் ஆலும் தருகின்றன. I, H ஆகிய இரண்டையும் கொண்டு B-யின் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்.

$$B = \mu_0 H + I$$

இது போன்றே ஒவ்வொரு மின்னோட்டத்திற்குரிய I, H, B ஆகியவற்றைக் கணக்கிடவேண்டும்.

இவ்வாறு கணக்கிட்ட செய்முறைக் குறிப்புகளைக் கொண்டு *I*-க்கும் *H*-க்குமாக வரையப்படும் வரைபடம் படத்தில் காட்டிய வாறு அமைந்திருக்கும்.



படம் 148

ஆரம்பத்தில் மின்னோட்டத்தைச் சுழி அளவிலிருந்து + 3 ஆம்பியர் வரை அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும்போது *H* அதிகரிக்க அதிகரிக்க *I*-யும் அதிகரிப்பதை *OA* என்ற வரை படம் காட்டுகிறது. *A*-க்கு அருகே அது கிடை மட்டத்தில் செல் வதைப் பார்க்கிறோம். அஃதாவது, *I*-ன் மதிப்பு பெரும நிலையை அடைந்து விட்டதை அறிகிறோம். இதைத்தான் தெவிட்டு நிலை என்கிறோம். பின்னர் மின்னோட்டத்தை 3 ஆம்பியரிலிருந்து படிப்படியாகச் சுழி ஆம்பியருக்குக் குறைத்துக் கொண்டு வருகிறோம். காந்தமாக்கும் புலம் குறையக்குறையக் காந்தமாக்கற் செறிவும் குறைகிறது. ஆனால், எந்த வேகத்தில் அதிகமாகியதோ அதே வேகத்தில் குறையாமல் மெதுவாகக் குறைவதைப் பார்க் கிறோம். இதை *AB* என்ற வரைபடப் பகுதி காட்டுகிறது. *B* என்ற இடத்தில் காந்தமாக்கும் புலத்தின் செறிவு சுழியாகிவிட்ட போதிலும் இரும்புத் துண்டில் *OB* என்ற அளவு காந்தமாக்கற் செறிவு இருக்கிறது. மீந்த காந்தம் (residual magnetism) அல்லது தக்க வைத்தல் (retentivity) என்று பெயர். இங்குத் திசைமாற்றுச் சாவி பயன்படுத்தப்பட்டு மின்னோட்டத்தின் திசை மாற்றப்படு கிறது. இது காந்த நீக்குப் படலமாகும். இதை *BC* என்ற வரைபடம் காட்டுகிறது. *C* என்ற புள்ளியில் காந்தமாக்கும்

புலத்தின் அளவு OC ஆக இருந்தும் இரும்புத் துண்டு காந்த மாக்கற் செறிவு ஏதுமில்லாமல் $(I=O)$ இருக்கிறது. அஃதாவது இரும்புத் துண்டிலுள்ள காந்த ஆற்றலை முற்றிலும் நீக்கி அதைக் காந்தமற்றதாக்க OC என்ற அளவுடைய புலத்தை எதிர்த் திசையில் செயற்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது. இப் புலத்தின் அளவு காந்த நீக்கு விசை (coersive force) என்றழைக்கப்படுகிறது. தொடர்ந்து மின்னோட்டத்தை எதிர்த் திசையில் — 3 ஆம்பியரை அடைவதை வரைபடம் CD காட்டுகிறது. முன்போலவே D–ல் வரைபடம் கிடைமட்ட நிலையைக் காட்டுகிறது. இதிலிருந்து F-ல் காந்தம் நீக்கப்பட்ட இரும்புத் துண்டு D-ல் அதன் வடமுனை தென்முனையாகவும், தென் முனை வடமுனையாகவும் மாற்றப்பட்ட நிலையில் தெவிட்டு நிலையை அடைந்துவிட்டதை உணர்கிறோம்: பின்னர் மின்னோட்டம்—3 லிருந்து சுழி நிலையை அடைவதை DE காட்டுகிறது. முன்பு கூறியது போலவே EO என்பது மீந்த காந்தத்தின் அளவினைத் தருகிறது. பிறகு மின்னோட்டத்தின் திசையைத் திருப்பி O ஆம்பியரிலிருந்து 3 ஆம்பியர் வரை செல்வதை வரைபடப் பகுதி EFA காட்டுகிறது.

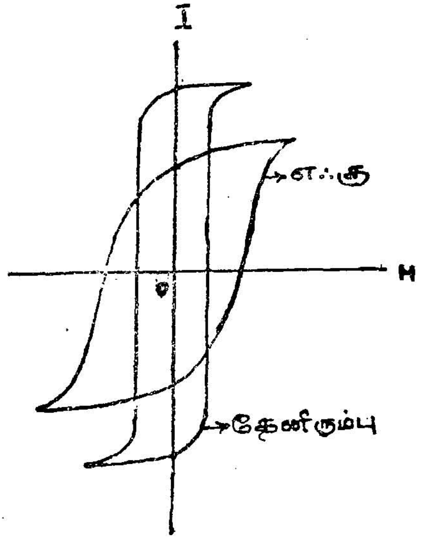
காந்தமாக்கற் செறிவு காந்தமாக்கும் புலத்துடன் கூடவே வராமல், பின்தங்கி வருகின்ற இந் நிலையினை தயக்க நிலை (Hysteresis) என்கிறோம். $A\ B\ C\ D\ E\ F\ A$ என்ற கண்ணி (loop) தயக்கக்கண்ணி என்றழைக்கப்படுகிறது. இக் கண்ணியின் பரப்பு காந்தமாக்கற் செறிவு மாற்றத்திற்குச் செலவிடப்பட்ட ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

இவ்வாறே B-க்கும் H–க்குமாக வரையப்படும் வரைபடம் B–H கண்ணி என்றழைக்கப்படும். இதன் பரப்பு சோதனைப் பொருளின் ஓர் அலகுப் பருமனுக்கு ஒரு காந்தமாக்கற் சுழற்சியில் செலவிட்ட ஆற்றலைக் குறிக்கும்.

எஃகு, தேனிரும்பு ஆகியவற்றின் காந்தப் பண்புகள்

இங்குள்ள படத்தில் எஃகு, தேனிரும்புத் துண்டுகளை வரிச்சுருளுக்குள் வைத்துப் பெறப்பட்ட அளவுக் குறிப்புகளைக் கொண்டு வரையப்பட்ட தயக்கக் கண்ணிகள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இப் படங்களிலிருந்து தேனிரும்பு மிகுந்த மின் தூண்டலும், மிகக் குறைந்த காந்த நீக்கு விசையும் கொண்டது என்பதை அறிகிறோம். இதுபோலவே எஃகுத் துண்டு குறைந்த காந்தத் தூண்டலும் ஆனால் மிகுந்த காந்த நீக்க விசையும் கொண்டது என அறிகிறோம்.

எனவே, மிக வலிமையுள்ள தற்காலிகக் காந்தங்கள் (மின் காந்தம் போன்றவை) செய்வதற்குத் தேனிரும்பு ஏற்றது என அறிகிறோம். மிகக் குறைந்த காந்த நீக்கு விசை உடையதாக இருப்பதால் விரைவில் இதனை நீக்கிவிடலாம். மேலும் காந்த மாக்கற் செறிவு மாற்றங்களின்போது தேனிரும்பில் மிகக்குறைந்த



படம் 149

ஆற்றலே செலவிடப்படுகிறது என்பதை அதன் தயக்கக் கண்ணியின் (Hysteresis loop) குறைந்த பரப்பளவு காட்டுகிறது. ஆகவே தான் தேனிரும்பு ஆர்மெச்சூர் மற்றும் டிரான்ஸ்பார்மர்களில் பயன்படுத்தப்படுகிறது;

நிலைகாந்தங்கள் செய்வதற்கு எஃகு சிறந்தது என்பதைப் பின்வரும் உண்மைகள் காட்டுகின்றன. எஃகின் தயக்கக் கண்ணிப் படத்தில் காந்த நீக்கு விசையின் அளவு அதிகமாக இருக்கிறது. எனவே இதிலிருந்து காந்த ஆற்றலை எளிதில் நீக்க இயலாது. ஆனால் கண்ணியின் பரப்பளவு அதிகமாயிருப்பதால் இதில் அதிக ஆற்றல் செலவிடப்படுகிறது என்பதையும், காந்த மாக்கற் செறிவின் அளவு குறைவாக இருக்கும் என்பதையும் அறிகிறோம்.

பூமியின் காந்தப்புலம்
(Earth's magnetic field)

பூமி ஒரு பெரிய காந்தம் போலச் செயற்படுகிறது என்பதை யும், பூமியின் காந்த அச்சு, அதன் புவியியல் அச்சிலிருந்து குறிப் பிட்ட ஒரு கோணத்தில் சாய்ந்திருககிறது என்பதையும் அறி வோம்.

ஓரிடத்தின் புவியியல் துருவதளம் (Geographic meridian)

புவியியல் முனைகள் மற்றும் பூமி உருண்டையின்மீது அவ் விடம் இருக்கும் புள்ளி ஆகியவற்றின் வழியே செல்லும் தளம் புவியியல் துருவ தளம் எனப்படும்.

ஓரிடத்தின் காந்தத் தளம் (Magnetic meridian)

பூமி காந்தத்தின் முனைகள் மற்றும் பூமி உருண்டையின்மீது அவ்விடம் இருக்கும் புள்ளி ஆகியவற்றின் வழியே செல்லும் தளம் காந்தத் துருவ தளம் எனப்படும்.

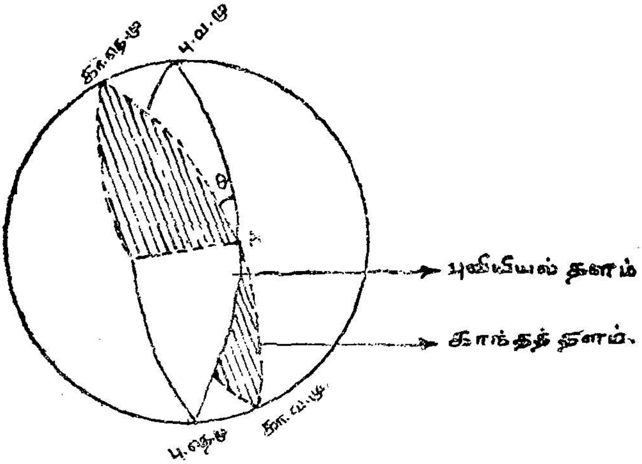
பூமி காந்தத்தின் அடிப்படைக் கூறுகள்
(Elements of earth's magnet)

ஒதுக்கக் கோணம்: சரிவுக் கோணம், பூமி காந்தப் புல வலிமையின் கிடக்கைக் கூறு என்னும் மூன்றும் பூமி காந்தத்தின் அடிப்படைக் கூறுகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன.

(i) ஒதுக்கக் கோணம் (Declination)

ஓரிடத்தின் காந்தத்தளம் அவ்விடத்திலுள்ள புவியியல் தளத் திலிருந்து எத்தனை டிகிரியில் ஒதுங்கி இருக்கிறதோ அக்கோணம் ஒதுக்கக் கோணம் எனப்படும். இதையே ஓரிடத்தின் காந்தத் தளம் மற்றும் புவியியல் தளம் ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள

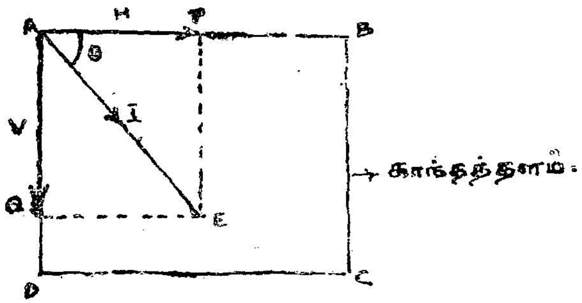
கோணம், ஒதுக்கக் கோணமாகும் என்றும் கூறலாம். படம் 150-ல் θ என்பது சரிவுக் கோணமாகும்.



படம் 150

(ii) சரிவுக் கோணம் (Dip)

பூமி காந்தத்தின் புலவலிமை கிடைமட்டத்திலிருந்து குறிப்பிட்ட கோண அளவு சாய்ந்தே காணப்படுகிறது. *AH* என்பது கிடைமட்டம் என்றும் *AV* என்பது குத்துக்கோடு என்றும்



படம் 151

கொண்டால், புலவலிமை *AI* என்னும் திசையில் செயற்படுகிறது. படம் 151-ல் பூமியின் மீதுள்ள *A* என்ற இடத்திலுள்ள பூமி

காந்தத்தளத்தின் ஒரு பகுதி *ABCD* ஆகும். *I* என்பது அவ்விடத்தின் பூமிகாந்தப் புலத்தின் வலிமையைக் குறிக்கிறது. அவ் வலிமை கிடைமட்டமாகிய *AB* என்னும் கோட்டிலிருந்து θ டிகிரி சாய்ந்திருப்பதைக் காண்கிறோம். இக் கோணம் அவ்விடத்தில் பூமிகாந்தத்தின் சரிவுக் கோணம் (Dip) எனப்படும். பூமியின் ஓரிடத்தில் காணப்படும் அதன் காந்தப்புல வலிமையின் திசைக்கும், அவ்விடத்தில் வரையப்படும் கிடைமட்டத்திற்கும் இடையே உள்ள கோணம சரிவுக் கோணம் எனப்படும். படத்தில் *HAI* என்பது சரிவுக் கோணமாகும்.

கிடைமட்டப் புலவலிமை (Horizontal intensity)

ஓரிடத்திலுள்ள பூமிகாந்தப் புலவலிமையின் கிடக்கைக் கூறு என்பதைச் சுருக்கமாகக் கிடைமட்டப் புலவலிமை என்று கூறுவர்.

பூமியின் ஓரிடத்தில் காணப்படும் பூமிகாந்தப் புலவலிமையின் கிடக்கைக் கூறு அவ்விடத்தின் கிடைமட்டப் புல வலிமை (horizontal intensity) என்று வரையறுக்கப்படுகிறது.

படம் 159-ல் *AE* என்பது அவ்விடத்தின் புலவலிமையின் அளவினைக் குறித்தால் *AP* என்பது கிடக்கைக் கூறையும், *AQ* என்பது நெடுக்கை கூறையும் (vertical component) தரும் என்பதை அறிவோம்.

எனவே, $AP = AE \text{ Cos } \theta$

அஃதாவது $H = I \text{ Cos } \theta$

இதேபோன்று $AQ = AE \text{ Sin } \theta$

அஃதாவது $V = I \text{ Sin } \theta$

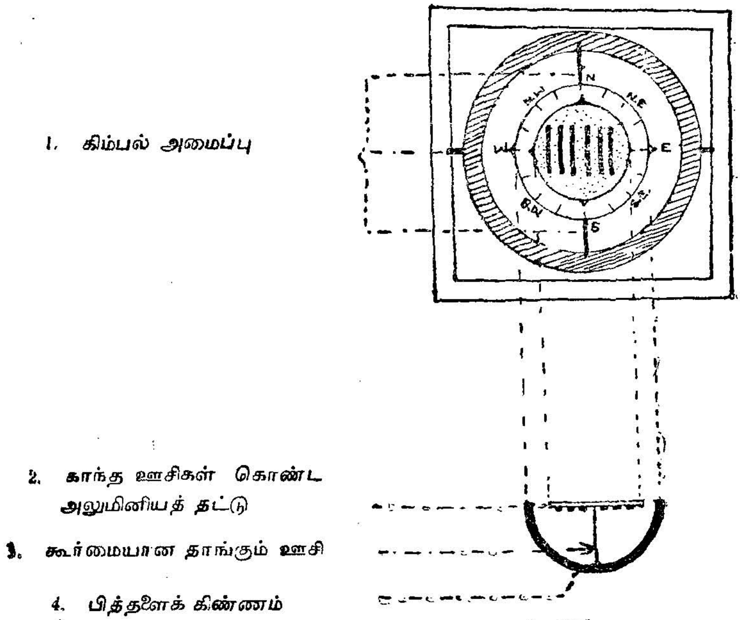
பூமிகாந்தத்தின் அடிப்படைக் கூறுகள் இடத்திற்கு இடம் வேறுபடுகின்றன என்பதை நினைவில் வைக்கவேண்டும். கதிரவனில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் இவற்றைப் பாதிக்கின்றன.

மாலுமிகளின் திசைகாட்டி (Mariner's Compass)

கூர்முனை ஒன்றில் தாங்கப்பட்ட காந்த ஊசி அல்லது கிடைமட்டமாக இருக்கும்படி தொங்கவிடப்பட்ட கட்டைக்காந்தம் தெற்கு வடக்காக நிற்கும் என்னும் உண்மையின் அடிப்படையில் இக் கருவி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இதில் மெல்லிய, வட்டமான அலுமினியத் தட்டு ஒன்று இருக்கிறது. அலுமினியத் தட்டின் கீழ்ப்பக்கத்தில் அதன்

மையத்தை வைத்து நோக்கச் சீரமைவு கொண்டிருக்கும்படி 8 காந்த ஊசிகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வரிசையாக வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தட்டு, கூர்மையான செங்குத்தாய்



படம் 152
(மாலுமியின் திசை காட்டி)

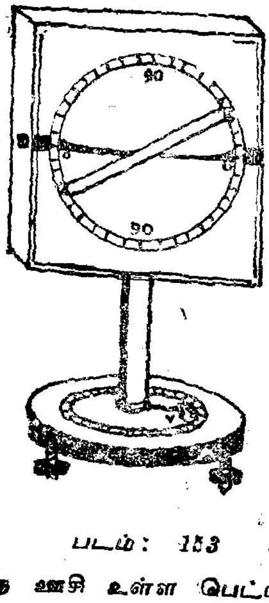
அமைந்த ஊசி ஒன்றின் முனையில் தாங்கப்படுகிறது. தாங்கும் ஊசியின் அடிப்பக்கம் அரை வட்டப் பித்தளைக் கிண்ணம் ஒன்றுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கிண்ணம் படத்தில் காட்டியவாறு கிம்பல் அமைப்பில் (gymbals) நிற்கிறது. எனவே கிம்பல் சாய்ந்தாலும், ஏறி இறங்கினாலும் அலுமினியத் தட்டும், பித்தளைக் கிண்ணமும் கிடைமட்டமாகவே இருக்கும்.

சரிவு வட்டம் (Dip circle)

இது பூமியில் ஓரிடத்தின் புவிகாந்தக் கூறுகளில் ஒன்றாகிய சரிவுக் கோணத்தைக் கண்டுபிடிக்க உதவுகிறது. இதில் செங்குத்துத் தளம் ஒன்றில் தங்குதடையின்றி இயங்குவதற்கேற்ப அகேட் கத்தி விளிம்புகளில் தாங்கப்படும் கிடைமட்ட அச்சு பொருத்தப்பட்ட காந்த ஊசி ஒன்று இருக்கிறது. காந்த ஊசியின் முனை செங்குத்தான வட்ட அளவு கோல் ஒன்றுக்கு முன்னால் அசைகிறது. காந்த ஊசியின் மையம் வட்ட அளவு கோலின்

மையத்துடன் பொருந்தியிருக்கும். மேலும் காந்த ஊசியின் புவி ஈர்ப்புப் புள்ளி வழியாக அதைத் தாங்கும் அச்சு செல்கிறது. வட்ட அளவு கோலின் O—O கோடு சரியான கிடைமட்டத்தில் இருக்குமாறு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. வட்ட அளவுகோல், ஊசி, அதைத் தாங்கும் கத்தி விளிம்புகள் ஆகியவை எல்லாம் ஒரு கண்ணாடிப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. பெட்டியைத் தாங்கி நிற்கும் தூண், கிடைமட்டத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் மற்றொரு வட்ட அளவு கோலின் மையத்தில் அமைந்திருக்கிறது. பெட்டியைச் செங்குத்து அச்சு ஒன்றில் சுழற்றலாம். அப்போது பெட்டியைத் தாங்கும் தூணுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் நீண்ட கரத்தின் முனையில் அமைந்துள்ள வர்னியர், வட்ட அளவு கோலின்மீது இழைந்து செல்லும். வட்ட அளவுகோல் பொருத்தப்பட்ட அடிப் பீடம் மூன்று திருகுக் கால்களின்மீது நிற்கிறது.

இக் கருவியைக் கொண்டு பின்வரும் முறையில் ஓரிடத்தின் சரிவுக் கோணத்தை அறியலாம். திருகுக்கால்களைச் சீர்செய்து, ரச மட்டத்தின் (spirit level) உதவியுடன் கிடைமட்ட அளவு கோல் முற்றிலும் கிடைமட்டத்தில் அமைந்திருக்குமாறு செய்ய



படம்: 153

வேண்டும். காந்த ஊசி உள்ள பெட்டியைச் சுழற்றி ஊசி 90°—90° என்ற அளவினைக் காட்டுமாறு செய்யவேண்டும். இந் நிலையில் காந்த ஊசி முற்றிலும் புவிகாந்தச் செறிவின் செங்குத்துக் கூறின் ஆட்சிக்கு உட்பட்டு இருக்கிறது. இந் நிலையில் கிடை

மட்ட அளவுகோலில் வர்னியர் காட்டும் அளவினைக் குறித்துக் கொண்டு பின்பு அதிலிருந்து சரியாக 90° கோணத்தில் பெட்டியைத் திருப்ப வேண்டும். இப்போது காந்தஊசி புவிகாந்தத் தளத்தின் போக்கில் அமையும். அதன் இரு முனைகள் காட்டும் கோணம் சரிவுக் கோணம் ஆகும். இந் நிலையிலிருந்து பெட்டியைச் சரியாக 180° திருப்பி மீண்டும் ஊசி காட்டும் அளவுகளை குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இந் நான்கு அளவுகளின் சராசரி அவ்விடத்தில் புவிகாந்த உறுப்புக்களில் ஒன்றாகிய சரிவுக்கோணத்தைத் தரும்.

(i) ஊசியின் இருமுனைகள் காட்டும் அளவுகளைக் குறித்துக் கொண்டு சராசரி கணக்கிடுகின்ற முறையினால் ஊசியின் அச்சும் வட்ட அளவு கோலின் மையமும் பொருந்தியில்லாமல் இருந்திருந்தால் அதனால் ஏற்படும் பிழைகளைத் தவிர்க்கலாம்.

(ii) பெட்டியை 180° திருப்பி மீண்டும் ஊசி காட்டும் இரு அளவுகளையும் எடுக்கும் முறையினால் செங்குத்து அளவு கோலின் 0 – 0 கோடு கிடைமட்ட நிலையில் இல்லாது போனால் ஏற்படக் கூடிய பிழைகள் தவிர்க்கப்பட்டு விடும்.

(iii) ஊசியை அதன் அச்சின்மீது வல இடமாக மாற்றி வைத்து மீண்டும் நான்கு அளவுகள் எடுத்து அவற்றின் சராசரியைச் சரிவுக்கோணமாகக் கொள்ளலாம். இம் முறையினால், ஊசியின் புவிஈர்ப்புப் புள்ளியும், அச்சும் பொருந்தாமலிருக்குமானால் அதனால் ஏற்படும் பிழை தவிர்க்கப்படுகிறது.

எலெக்ட்ரானியல்
(ELECTRONICS)

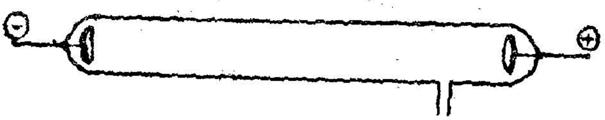
எலெக்ட்ரானியல்
(Electronics)

எலெக்ட்ரான்
(Electron)

வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம் (Discharge of electricity through gases)

வளிமண்டல அழுத்தத்தில் உள்ள காற்று ஒரு மின்கடத்தாப் பொருள் என்பதை நாம் அறிவோம். எனவே மிக அதிக மின்னழுத்தம் ஏற்பட்டாலொழிய இரு மின் முனைகளுக்கிடையே மின்னிறக்கம் ஏற்பட இயலாது. அப்போதுங்கூடத் தடையைத் தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கமே உண்டாகும். இதற்குத் தேவையான மின்னழுத்தம் 30,000 வோல்ட்களுக்குமேல் அதிகமாகும். அத்தகைய நிலையில் மின்முனைகளுக்கிடையிலுள்ள இடத்தில் மின்புலத்தின் செறிவு மிக அதிகமாவதால் அங்குள்ள காற்று மூலக்கூறுகள் அயனிகளாக்கப்படுகின்றன. இவ்வயனிகள் மின் முனைகளை நோக்கி விரையும் போது மேலும் சில மூலக்கூறுகளுடன் மோதி அவற்றையும் அயனிகளாக்குகின்றன. இவ்வாறு மின் கடத்தாப் பொருளான காற்று அயனிகளாக்கப்பட்டுத் தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கம் (disruptive discharge) நடைபெறுகிறது. ஆனால் மின்முனைகள் பொருத்தப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயிலுள்ள காற்றை எடுத்துக்கொண்டு, குழாயினுள் நிலவும் அழுத்தத்தைக் குறைத்தால் சீரான மின்னிறக்கம் (steady discharge) நிகழக் காணலாம். கெய்ஸ்லர் (Geissler) என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி மின்னிறக்கம் பற்றிய ஆய்வினை ஆரம்பித்தார். அவரைத் தொடர்ந்து பௌதிக விஞ்ஞானிகள் பலர் செய்த முயற்சிகளும் ஆராய்ச்சிகளும் அணு விஞ்ஞானமாக வளர்ந்தது.

ஒன்று முதல் இரண்டு மீட்டர் நீளமும், மூன்று முதல் நான்கு செ.மீ. விட்டமும் கொண்ட குழாய் மின்னிறக்க ஆய்வுக்கு ஏற்றது. அதன் இரு முனைகளிலும் அலுமினிய வட்டுகளை உடைய மின்முனைகள் (electrodes) பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இம் முனைகள் தூண்டு சுருள் (induction coil) ஒன்றின் துணைச் சுருள் (secondary) முனைகளுடன் இணைக்கப்பட்டு மிக அதிக மின்னழுத்தம் தரப்படுகின்றன. குழாயில் ஓரிடத்திலுள்ள பக்கக்குழாய்

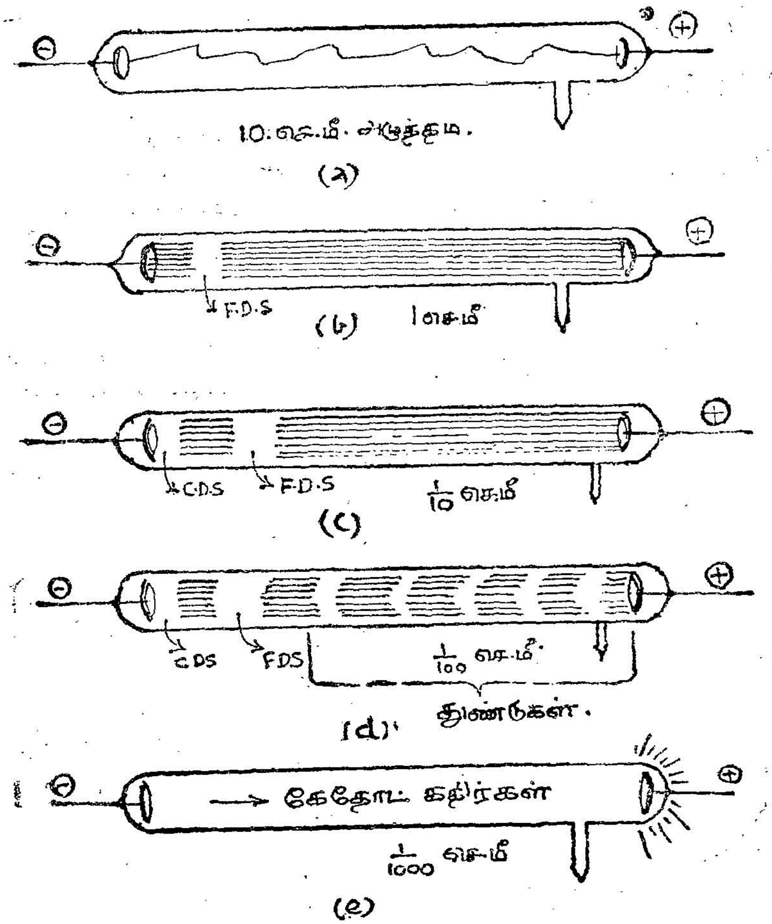


படம் : 154
மின்னிறக்கக் குழாய்

ஒன்று காற்று நீக்கம் செய்யும் பம்பு ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதனுடன் மின்னிறக்கக் குழாயினுள் நிலவும் அழுத்தத்தை அறிவதற்கு ஒரு மெக்லியாட் அழுத்தமானி (Mcleod gauge) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

குழாயினுள் நிலவும் அழுத்தம் 0·1 மீ. பாதரச அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கையில் "படபட" வென்ற சப்தம் கேட்கும். அப்போது மின்முனைகளுக்கிடையே மின்னல் போன்ற ஒளிக்கதிர் பாய்ந்து செல்லும். அழுத்தம் 0·01 மீட்டராகக் குறையும் போது வெளிர் ஊதா நிறத்தில் சீரான மின்னிறக்கம் நடைபெறும். 0·001 மீ. அழுத்தத்தில் எதிர்மின் முனையில் ஓர் ஒளிவீச்சு (glow) பிறக்கிறது. இஃது எதிர்மின் முனை ஒளிவீச்சு (cathode glow) எனப்படும். அதே போன்று நேர்மின் முனையிலிருந்தும் ஓர் ஒளி வீச்சு உண்டாகும்; இது நேர்மின் முனை ஒளி வீச்சு (anode glow) எனப்படும். இவை இரண்டிற்குமிடையே எதிர்மின் முனைக்கு அருகில் ஓர் இருண்ட இடம் காணப்படும். இது ஃபாரடேயின் இருண்ட இடம் (Faraday's dark space) எனப்படும். அழுத்தம் 0·001 மீட்டரை விடக் குறைவாக இருக்கையில் எதிர் மின் ஒளி வீச்சு எதிர் மின் முனையை விட்டுப் பிரிந்து சற்றுத் தள்ளி காணப்படுகிறது. எதிர் மின்முனைக்கும் எதிர் மின் முனை ஒளி வீச்சிற்குமிடையில் ஓர் இருண்ட இடம் காணப்படுகிறது. இது குருக்கின் இருண்ட இடம் (Crooke's dark space) என்றழைக்கப்படுகிறது. அழுத்தம் மேலும் குறையக் குறைய குருக்கின் இருண்ட இடம் அகலமாகிறது. எதிர் மின்முனை ஒளி

வீச்சும் நேர் மின்முனை எதிர் வீச்சும் மங்கலாகின்றன. அழுத்தம் 0·0001 மீ. ஆகும்போது நேர் மின்முனை ஒளி வீச்சு பல துண்டுகளாகக் குறுக்கு வரிகளால் பிரிக்கப்படுகிறது. இவை நேர் மின்முனையை நோக்கிக் குழிந்து காணப்படுகின்றன. அழுத்தம் 0·00001 மீ. ஆகும்போது மேற்கூறிய எல்லாம் மறைந்துபோய் குழாய் முழுவதையும் குருக்கின் இருண்ட இடம் நிரப்பிவிடுகிறது; கண்ணுக்குத் தெரியும்படியான மின்னிறக்கம் காணப்படவில்லை.



படம் 155

இந்த நிலையில் எதிர் மின்முனைக்கு எதிர்ப்பக்கத்திலுள்ள குழாயின் சுவர் அது செய்யப்பட்டிருக்கும் கண்ணாடியின் குணத்தைப் பொருத்து இள நீல அல்லது இளம் பசுமை நிற ஒளியைச் சிந்துகிறது. இவ்வொளி ஒளிர்தல் (fluorescence) என்ற நிகழ்ச்சியால் ஏற்படுகிறது. இதிலிருந்து எதிர் மின்முனையிலிருந்து வெளிவரும் 'ஏதோ ஒன்று' இதற்குக் காரணம் என்று ஊகிக்கப்பட்டது. அந்த ஏதோ ஒன்று எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் என்றும், அத்தகைய துகள்களைக் கொண்ட, எதிர் மின்முனையிலிருந்து நேர் மின்முனையை நோக்கி விரைந்து செல்கின்ற கதிர்கள் "கேதோட் கதிர்கள்" (cathode rays) என்றும் அறிந்தனர்.

கேதோட் கதிர்களின் பண்புகள்

(1) நேர் மின்முனை எவ்விடத்திலிருப்பினும் கேதோட் கதிர்கள் எதிர் மின்முனையின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவே வெளிவருகின்றன. ஒரு குழிதள (concave) எதிர் மின்முனையைப் பயன்படுத்தினால் இக்கதிர்கள் அக் குழிதளத்தின் வளைவு மையத்தில் குவிகின்றன.

(2) இக் கதிர்கள் பருப்பொருள்களுடன் மோதும்போது வெப்பம் உண்டாகிறது. குழிதள எதிர் மின்வாய் ஒன்றின் வளைவு மையத்தில் வைக்கப்படும் பிளாட்டினத்துண்டு இக் கதிர்கள் உண்டாக்கும் வெப்பத்தினால் சூடாகிப் பழுக்கிறது.

(3) கேதோட் கதிர்கள் நேர்க்கோட்டில் விரைந்து செல்கின்றன. இவற்றின் பாதையில் வைக்கப்படும் திண் பொருள்கள் குழாயின் சுவரில் நிழல் தருகின்றன.

(4) கேதோட் கதிர்கள் மிக அதிகமான திசைவேகமுடையன. அவற்றின் வேகம் வினாடிக்கு $2 \cdot 2 \times 10^9$ செ. மீட்டரிலிருந்து $3 \cdot 3 \times 10^9$ செ.மீ. வரை இருக்கிறது.

(5) கேதோட் கதிர்கள் விசையியல் விளைவுகளை உண்டாக்குகின்றன. இவை செல்லும் பாதையில் தக்கவாறு வைக்கப்பட்ட துடுப்புச் சக்கரம் உருண்டு செல்கிறது. இதிலிருந்து கேதோட் கதிரில் உள்ள துகள்கள் தமக்கென ஒரு நிறை (mass) உடையன என அறிகிறோம்.

(6) கேதோட் கதிர்கள் மின்புலம் காந்தப்புலம் ஆகியவற்றால் பாதிக்கப்படுகின்றன. எதிர் மின்னூட்டங் கொண்ட துகள்கள் மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவற்றில் அடையும் திசைமாற்றத்தை இக் கதிர்கள் அடைகின்றன. எனவே கேதோட் கதிர்கள் எதிர்

மின்னூட்டமுடைய துகள்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என அறிகிறோம்.

(7) இக் கதிர்கள் வாயுக்களில் "அயனியாக்கம்" உண்டாக்குகின்றன. மேலும் தக்க இலக்குகளின் (targets) மீது மோதி "எக்ஸ் கதிர்"களை உண்டாக்குகின்றன.

(8) அவை பல படிகங்களிலும், உப்புக்களின்மீதும் படும்போது ஒளிர்தல் உண்டாகிறது.

(9) இவை ஒளிப்படத் தகடுகளைப் பாதிக்கின்றன.

(10) அலுமினியம் போன்றவற்றின் மென் தகடுகள் வழியே இவை ஊடுருவிச் செல்கின்றன.

(11) J.J தாம்சன் என்பார் கேதோட் கதிர் துகள்கள் எதிர் மின்னூட்டங் கொண்டிருக்கின்றன என்றும் அவை தமக்கென ஒரு நிறை கொண்டிருக்கின்றன என்றும் சோதனைகள் மூலம் நிலை நாட்டினார். கேதோட் கதிர்த் துகளின் நிறை $9 \cdot 1 \times 10^{-31}$ கி. கிராம் என்றும், அதன் மின்னூட்டம் $1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ கூலம் என்றும் கண்டறிந்தனர். இதன் நிறை ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையில் $\frac{1}{1840}$ மடங்கு இருந்தது. பின்னர் இத் துகளுக்கு எலெக்ட்ரான் (electron) என்று பெயரிட்டனர். இது எல்லாப் பொருள்களின் அணுக்களிலும் காணப்படும் அடிப்படைக் கூறுகளில் ஒன்றாகும் என அறிந்தனர்.

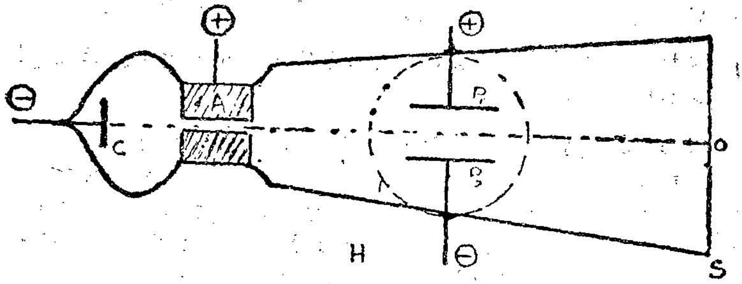
கேதோட் கதிர்களின் $\frac{e}{m}$ மதிப்பு காணல்

தாம்சன் முறை

ஒரு துகளின் மின்னூட்டம் e என்றும் அதன் நிறை m என்றும் கொண்டால் அதன் மின்னூட்ட நிறைத் தகவு (specific charge) $\frac{e}{m}$ ஆகும். ஒரு துகளின் மின்னூட்டத்திற்கும் அதன் நிறைக்கு முள்ள வீதம் அத் துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு எனப்படும்.

தாம்சன் பயன்படுத்திய மின்னிறக்கக் குழாய் படத்தில் காட்டியவாறு இருந்தது. அதன் ஒரு முனையில் C என்ற எதிர் மின்முனையும் அதற்கு அருகே மெல்லிய நீண்ட துவாரமுடைய உருளை வடிவ நேர் மின்முனை A-யும் பொருத்தப்பட்டிருந்தன. A-க்கு அப்பால் மின்னிறக்கக் குழாய் நீண்டு சுரைக்காய் வடிவில்

அமைந்திருக்கிறது. குழாயின் மறுமுனையில் S என்ற ஒளிர் திரை (fluorescent screen) ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குழாயினுள் கேதோட் கதிர் செல்லும் பாதைக்கு மேலுங் கீழுமாக இரு உலோகத் தகடுகள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன அவற்றிடையே தக்க மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்து மின்புலம் ஒன்றை உண்டாக்கலாம். மின்புலத்தின் திசைக்கு நேர் செங்குத்தான திசையில் அதே இடத்தில் காந்தப் புலம் ஒன்றை உண்டாக்குவதற்கு ஏற்ற மின்காந்த அமைப்புகள் இருக்கின்றன.



படம் 156

C : எதிர் மின் முனை; *A* : நேர்மின் முனை,
S : ஒளிர் திரை P_1 P_2 மின்புலத் தகடுகள்
H : காந்தப் புலம்.

குருக்கின் இருண்ட இடம் மின்னிறக்கக் குழாய் முழுதும் பரவிவிடுவதற்கு ஏற்ற குறைந்த அழுத்தம் தரப்படுகிறது. இதனால் குழாயில் சீரான மின்னிறக்கம் உண்டாக, கேதோட் கதிர்கள் *C*-யிலிருந்து *A*-ஐ நோக்கி விரைகின்றன. அவ்வாறு செல்லும் கதிர்களில் *A*-ல் உள்ள துவாரத்தில் விழுகின்ற கதிர்கள் அவற்றிற்கு இருக்கும் மிக அதிக வேகத்தின் காரணமாக *A*-ஐக் கடந்து மெல்லிய கற்றையாக வெளியே வந்து நேராகச் சென்று ஒளிர் திரையில் *O*-என்ற புள்ளியில் மோதி, அங்குப் பொலிவு மிக்க ஒரு புள்ளியை (Spot) தோற்றுவிக்கிறது. மின் புலத்தை உண்டாக்கினால் அப் புள்ளி நேர் மின்னழுத்தமுடைய P_1-என்ற தகடு இருக்கும் பக்கமாக மேலேறிக் காணப்படுகிறது. படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக அமைந்துள்ள காந்தப்புலத்தை உண்டாக்கினால் அப் புள்ளி காந்தப்புலத்தின் ஆட்சியினால் கீழிறங்கி வரக் காணலாம். காந்தப்புலத்தின் செறிவினைத் தக்கவாறு சீர் செய்து மின்புலம் தந்த இடப் பெயர்ச்சியை ஈடுசெய்து ஒளிப்புள்ளியை மீண்டும் *O*-வுக்கே கொண்டுவந்துவிடலாம்.

P_1 மற்றும் P_2-என்ற தகடுகளுக்கிடையே நிலவும் மின்புலச் செறிவு X-என்றும், அதற்குச் செங்குத்தாக அமைந்த காந்தப் பாய்மச் செறிவு B-என்றும், துகளின் மின்னூட்டம் e-என்றும் அதன் நிறை m-என்றும் துகளின் வேகம் v-என்றும் கொள்வோம்;

மின் புலம் துகளின் மீது தரும் விசை $= Xe$ ஆகும்.

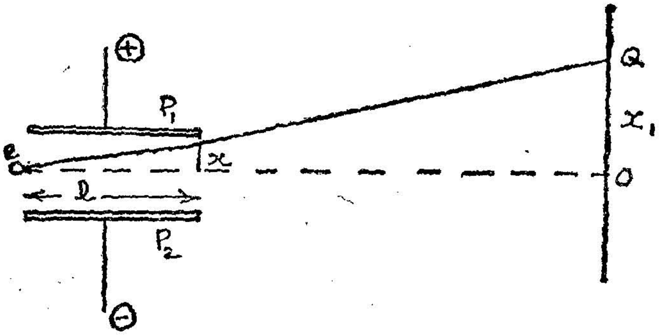
காந்தப்புலம் துகளின் மீது தரும் விசை Bev இங்கு $B = \mu_0 H$

மின்புலம் தருகின்ற இடப் பெயர்ச்சியைக் காந்தப்புலம் தரும் இடப்பெயர்ச்சி ஈடுசெய்துவிடுவதால் அவ்விரு விசைகளும் சம மாகவும் எதிராகவும் இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$Xe = Bev$$

$$\frac{X}{B} = v$$

இவ்வாறு துகளின் திசை வேகம் v அறியப்படுகிறது. இப்போது மின்புலம் மட்டும் செயற்படுவதாகக் கொள்வோம்; மின் புலத்தின் நீளம் l செண்டி மீட்டர் என்போம்.



படம் 157

துகள் மின்புலப் பாதையைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் $= \frac{l}{v}$ விநாடிகள். இந்த இடை நேரத்தில் தான் அஃது விசை $= Xe$–ஆகும். இவ் விசை துகளுக்குத் தரும் முடுக்கம் $a = \frac{Xe}{m}$ ஆகும். இம் முடுக்கம் துகளின் திசைக்குச் செங்குத்துத்

திசையில் செயற்படுகிறது. அந்தத் திசையில் துகளுக்குத் தொடக்க வேகம் சுழியாகும். அது மின் புலத்தைக் கடந்து வெளி வரும் நேரத்தில் அதன் போக்கிற்குச் செங்குத்தான திசையில் பெற்ற இடப் பெயர்ச்சி x-என்றால்,

$$x = O + \frac{1}{2}\frac{Xe}{m} \times \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}\frac{Xe}{m} \times \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

இந்த இடப்பெயர்ச்சி திரையில் குழாயின் வடிவ அமைப்பு காரணமாக x_1 என்ற இடப் பெயர்ச்சியாகத் தோன்றும்.

$x_1 = k\,x$ ஆகும். இங்கு k என்பது குழாயின் வடிவ அமைப்பு மாறிலி ஆகும்.

$$\therefore\ x_1 = \frac{k\,X\,e}{2m}\left(\frac{l}{v}\right)^2$$

ஆனால் $v = \frac{X}{B}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே}\ x_1 = \frac{k\,X\,e}{2\,m} \cdot \frac{l^2}{X^2} \cdot B^2$$

$$x_1 = \frac{k\,e\,l^2\,B^2}{2\,m\,X}$$

$$\therefore\ \frac{e}{m} = \frac{2\,X\,x_1}{k\,l^2\,B^2}\ \text{ஆகும்.}$$

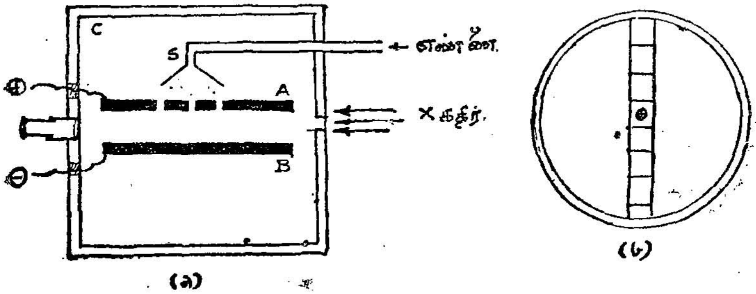
இவ்வாறு கேதோட் கதிர்த் துகளின் மின்னூட்ட நிறைத் தகவினைக் காணலாம்.

எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் காணல்

மில்லிகன் முறை (Millikan's method)

மில்லிகன் பயன்படுத்திய ஆய்கருவியில், 0·22 மீட்டர் விட்டமுடைய, ஒளியளவில் சமதளமான A, B என்ற இரு உலோகத் தட்டுகள் இருந்தன. அவை முற்றிலும் இணையாக இருக்குமாறு 0·045 மீட்டர் இடைவெளியில் வைக்கப்

பட்டிருக்கின்றன. A-யின் மையத்தில் ஒரு சிறிய துளை இருக்கிறது. இத்தகடுகள் C என்ற ஒரு உலோகப் பெட்டிக்குள் வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. அப்பெட்டி ஒரு மாறா வெப்பநிலைத் தொட்டி யினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. S என்பது ஒரு நுண்ணிய தெளிப் பான் (Atomiser). இதன் உதவியால் ஆவியாகாத எண்ணெய் நுண்ணிய திவலைகளாக C என்ற பெட்டியினுள் தெளிக்கப்படு



படம் 158

அளவு கோலின் பின்னணியில் திவலையின் தோற்றம்

கிறது. A என்ற தகடு நேர் மின்னழுத்த நிலையிலும், B என்ற தகடு எதிர் மின்னழுத்த நிலையிலும் வைக்கப்படுகின்றன. அவற் றிற்கு இடையே 20,000 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு உண்டாக்கப்படுகிறது. தகடுகளுக்கு இடையிலுள்ள காற்று X கதிர்களைக் கொண்டு அயனியாக்கம் செய்யப்படுகிறது. தெளிக் கப்பட்ட திவலைகளில் சில A-ல் உள்ள துளை வழியாகக் கீழ இறங்கித் தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள இடத்தை அடைகின்றன. அங்கு இத் திவலைகள் அயனிகளைப் பெற்று மின்னூட்டமுறுகின் றன. தகடுகளுக்கு இடையிலுள்ள வெளி ஆற்றல்மிக்க ஒளி மூலங்களின் உதவியால் நன்கு பொலிவூட்டப்படுகிறது. இத் திவலைகள் M என்ற நுண்ணோக்கியின் மூலம் நோக்கப்படுகின்றன. நுண்ணோக்கியில் குறுக்கிழைகளின் இடத்தில் ஒளி புகக்கூடிய ஓர் அளவுகோல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. நன்கு ஒளியூட்டப் பட்ட சிறு திவலைகள் அளவுகோலின் பின்னணியில் அழகிய சிறு விண்மீன்களைப் போல காட்சியளிக்கின்றன.

திவலையின் ஆரத்தைக் கண்டறிதல்

எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு திவலையை எடுத்துக்கொள் வோம், மின்புலம் செயற்படத் தொடங்கியவுடன் அது A என்ற தகட்டை நோக்கி எழும்பும். அதன் எடை அதைக் கீழ் நோக்கி

அமிழ்த்தும்; மின்புலச் செறிவின் அளவினைத் தக்கவாறு சீர் செய்து திவலை சமநிலை பெறுமாறு செய்தால்,

$$Xe = mg \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு m என்பது திவலையின் நிறை (mass) ஆகும்;

திவலையின் ஆரம் a என்றால்

$$Xe = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g \text{ ஆகும்} \qquad \ldots \quad (1)$$

இப்போது மின்புலத்தை முற்றிலும் நீக்கிவிட்டு அதே திவலையைப் புவிஈர்ப்பின்கீழ் இறங்குமாறு செய்தால், அஃது இருக்கும் ஊடகத்தின் பாகுநிலைச் செயல் (Viscous action) காரணமாகச் சீரான திசை வேகத்துடன் இயங்கும். நுண்ணோக்கியிலுள்ள அளவுகோலின் உதவியால் அஃது இறங்கும் திசைவேகம் v-ஐ அளவிடலாம். ஊடகத்தின் பாகுநிலை η என்றால் ஸ்டோக் வாய்பாட்டின் படி (Stoke's formula)

$$mg = 6\pi\eta a v$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6\pi\eta a v$$

$$a^2 = \frac{6\pi\eta v}{\frac{4}{3}\pi\rho g}$$

$$= \frac{9\eta v}{2\rho g}$$

$$a = \left(\frac{9}{2}\frac{\eta v}{\rho g}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2)$$

மேற்கண்ட a-ன் மதிப்பினைச் சமன்பாடு 1-ல் பதிவீடு செய்ய,

$$Xe = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{9\eta v}{2\rho g}\right)^{\frac{3}{2}} \rho g \text{ ஆகும்.}$$

$$e = \frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{9\eta v}{2\rho g}\right)^{\frac{3}{2}}\rho g}{X}$$

மில்லிகன், திவலை கீழிறங்கும் வேகத்தினை அது புவிஈர்ப்பின் ஆட்சியில்மட்டும் இருக்கும்போதும், புவி ஈர்ப்பு, மின்புலம் இவற்றின் கூட்டாட்சியின்கீழ் இருக்கும்போதும், கணக்கிட்டார். புவிஈர்ப்பின்கீழ் ஒரு திவலையின் வேகம் v என்றும், புவிஈர்ப்பு, மின்புலம் இவற்றின் கூட்டாட்சியின் கீழ் ஒரு சமயத்தில் திசைவேகம் v_1 என்றும், இன்னொரு சமயத்தில் v_2 என்றும் கொள்வோம்.

(v_1 என்ற வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் திவலை வழியில் இன்னும் சில அயனிகளைப் பிடித்தால் அதன் மீது செயற்படும் மின்புல விசை மாறுவதால் திசை வேகமும் மாறுவதற்கு இடமுண்டு.) அதன் வேகம் v_1 ஆக இருக்கையில் அதன் மின்னூட்டம் e_n என்றும் v_2 ஆக இருக்கையில் e_m என்றும் கொள்வோம்.

$$mg \propto v \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$X e_n - mg \propto v_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$X e_m - mg \propto v_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

ஆகவே,

சமன்பாடு 4-ஐ 3-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{X e_n - mg}{mg} = \frac{v_1}{v}$$

$$\frac{X e_n}{mg} = \frac{v_1 + v}{v}$$

$$\therefore \quad e_n = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_1 + v}{v}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இவ்வாறே, $$e_m = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_2 + v}{v}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

சமன்பாடுகள் (6) மற்றும் (7) இவற்றிலிருந்து,

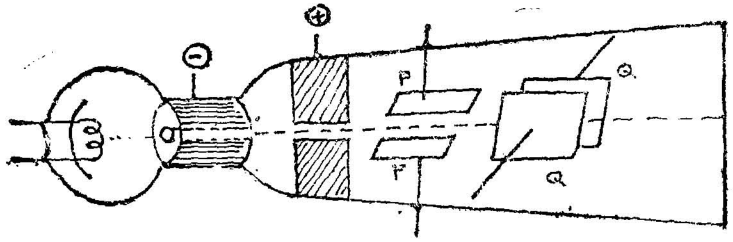
$$e_n - e_m = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_1 - v_2}{v}\right)$$

பல்வேறு திவலைகளைக் கொண்டு ஆய்வுகள் நடத்திக் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட ($e_n - e_m$) மதிப்புகளில் சிறும மதிப்பினை (minimum) எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டமாகக் கொள்ளவேண்டும்.

இவ்வாறு மில்லிகன் கண்ட e-ன் மதிப்பு $1{\cdot}59 \times 10^{-19}$ கூலம் ஆகும். $\frac{e}{m}$-ன் மதிப்பினை $1{\cdot}76 \times 10^{11}$ கூலம் / கி. கிராம் எனக் கொண்டு கணக்கிடப்பட்டதில் $m = 9.1 \times 10^{-31}$ கி.கிராம் என்ற விடை கிடைத்தது.

கேதோடு கதிர் ஆசிலோகிராஃப்
(Cathode ray Oscillograph)

இதில் மிகுதியும் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட சுரைக்காய் வடிவக் கண்ணாடிக் குமிழ் ஒன்று இருக்கிறது. அதன் ஒரு முனையில் P என்ற மின்னிழை (filament) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மின்னிழை சூடாக்கப்படும்போது அதிலிருந்து ஏராளமான எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன. இதுதான் எதிர்மின் முனையாகும். C என்பது உலோக உருளை. இஃது எதிர் மின்னழுத்த நிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதால் அவை அவ்வுருளையின் அச்சை நோக்கி தள்ளப்



படம் 159

படுகின்றன. A என்பது நேர்மின் முனை. இஃது எலெக்ட்ரான்களை ஈர்க்கிறது. அவ்வாறு ஈர்க்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின் முனையை நோக்கி விரைந்து வருகின்றன. அவற்றுள் நேர்மின் முனையிலுள்ள துவாரத்தை அடையும் எலெக்ட்ரான்கள், அவை பெற்ற அளவு கடந்த வேகத்தின் காரணமாகத் துளை வழியே வெளியேறி எதிர்ப்பக்கத்தில் உள்ள ஒளிர்திரையில் மோதி அவ்விடத்தில் ஒளிப்புள்ளியை தோற்றுவிக்கின்றன. எலெக்ட்ரான்களை உமிழும் எதிர்மின் முனையையும், அவற்றை ஈர்க்கும் நேர்மின் முனையையும் கொண்ட அமைப்பு எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி (electron gun) எனப்படுகிறது.

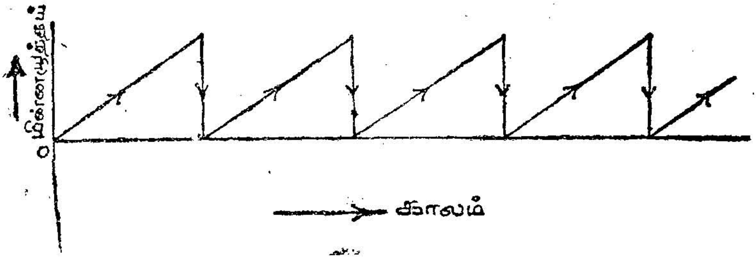
எலெக்ட்ரான் கற்றையின் பாதையில் மேலும் கீழுமாக (P,P) என்ற இரு தகடுகளும், பக்கவாட்டில் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக (Q,Q) என்ற இரு தகடுகளும் படத்தில் காட்டியவாறு வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மேலும் கீழுமாக உள்ள தகடுகள் கிடைமட்டத் தகடுகள் எனப்படும். இவை எலெக்ட்ரான் கற்றையைச் செங்குத்துத் திசையில் மேலுங் கீழுமாகத் திருப்புவதற்குப் பயன்படு

கின்றன, பக்கவாட்டில் அமைந்த தகடுகள் செங்குத்துத் தகடுகள் எனப்படுகின்றன. இவை கற்றையை இடப்பக்கமும் வலப் பக்கமும் அசைப்பதற்குப் பயன்படுகின்றன.

பயன்கள்

(i) மாறுதிசை மின்னோட்டம் (அஃதாவது ஏ. சி.) அல்லது மாறுதிசை மின்னழுத்தம் இவற்றின் வீச்சினை அறிய ஆசிலோ-கிராப்ஃ பயன்படுகிறது. மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை எடுத்துக் காட்டாகச் செங்குத்துத் தகடுகளின் வழி செலுத்தினால் அத் தகடுகள் அடுத்தடுத்து + ஆகவும் — ஆகவும் மாற்றமடைவதால் எலெக்ட்ரான் கற்றை மேலும் கீழுமாக அசையும் எனவே ஒளிர் திரையில் ஒரு நேர்க்கோடு தோன்றும். அதன் நீளம் மாறு திசை மின்னோட்டத்தின் வீச்சுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும்.

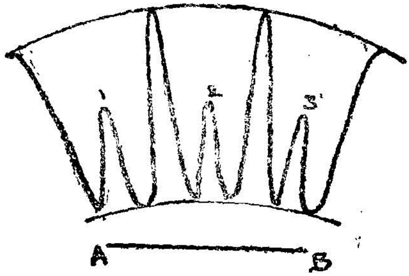
(ii) இதைப் பயன்படுத்தி மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வு எண்ணைக் காணலாம். இதற்குத் தகுந்த ஒரு நேர்க் கோட்டு கால வடி (linear time base) ஒன்று செங்குத்துத் தகடு களுக்கு இடையே செயற்படுமாறு செய்யவேண்டும். இதனால் குறிப்பிட்ட காலத்திற்கு ஒளிப்புள்ளி இடக்கோடியில் தொடங்கி வலக்கோடிக்குச் செல்லும். பின்னர்த் திடீரென்று இடக் கோடிக்கு வந்து மீண்டும் வலக்கோடியை நோக்கி நகரும். இவ்வாறு ஒளிப்புள்ளியை நகர்த்துவதற்குப் பயன்படும் மின்



படம் 160 (a)

னழுத்தம் வாள்பல் மின்னழுத்தம் (Saw tooth potential) எனப் படும். இம் மின்னழுத்தம் குறிப்பிட்ட காலம்வரை சீராக அதிக மாகிக் கொண்டே சென்று திடீரெனச் சுழி நிலைக்கு வந்து மீண்டும் சீராக அதிகரிக்கத் தொடங்கிக் குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப் பிறகு முன்போலவே திடீரெனச் சுழி நிலைக்கு வரும். இவ்வாறு எழுந்து விழுந்து செல்லும் மின்னழுத்தம் மேற்கூறியவாறு ஒளிப்புள்ளியை அசைக்க உதவுகிறது

அதிர்வெண் காணவேண்டிய மாறுதிசை மின்னோட்டம் கிடைமட்டத் தகடுகளிடையே செயற்படுகிறது. அப்போது படத்திற் காட்டியவாறு குறிப்பிட்ட வரைப்படம் ஒன்று காணப் படும்.



படம் 160 (b)

இங்கு *AB* என்பது நேர்க்கோட்டுக் காலவடி ஆகும். இப் படத்தில் ஒரேமாதிரியான வரைபடம் *AB* என்ற நீளத்திற்குள் மூன்று முறை திரும்பத் திரும்ப வந்துள்ளது. எனவே *AB* திசை மாறுவதைப் போல மூன்று மடங்கு வேகத்தில் மாறுதிசை மின்னோட்டம் திசைமாற்றிக் கொள்கிறது. அஃதாவது மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வு எண் நேர்க்கோட்டுக் காலவடியின் அதிர்வெண்ணைப் போன்று மூன்று மடங்காகும்.

(iii) டெலிவிஷன் கருவியில் டெலிவிஷன் அலைகளை மீண்டும் படமாக மாற்றும் பகுதியில் ஆசிலோகிராப் பயன்படுகிறது.

வெப்ப அயனி வெளியீடு
(Thermionic emission)

உலோக மின்கடத்தியில் நிறைய கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (free electron) இருக்கின்றன. அவை கடத்தியினுள் எங்கு வேண்டுமானாலும் செல்லக்கூடிய ஆற்றல் உள்ளவை. அவை வாயுவின் மூலக்கூறுகளைப் போல் செயற்படுகின்றன. ஆனால் அவை கடத்தியின் பரப்பினைவிட்டு வெளிவர முடியாதபடி ஒரு தடைவிசை (barrier) இருக்கிறது, அத் தடைவிசையைத் தாண்டிவரக்கூடிய அளவு ஆற்றல் பெற்ற எலெக்ட்ரான்கள் மின்கடத்தியின் பரப்பினை விட்டு வெளிவருகின்றன. ஓர் எலெக்ட்ரான் கடத்தியின் பரப்பினைவிட்டு வெளியேறுவதற்கான சிறும ஆற்றலின் அளவு வெப்ப அயனி வேலைசார்பலன் (Thermionic work function) எனப்படும். சாதாரண வெப்ப நிலையில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் அவ்வளவு ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதில்லை. கடத்தியின் வெப்பநிலை அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவற்றின் ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. ஆகவே அவை கடத்தியின் பரப்பைவிட்டு வெளியேறுகின்றன.

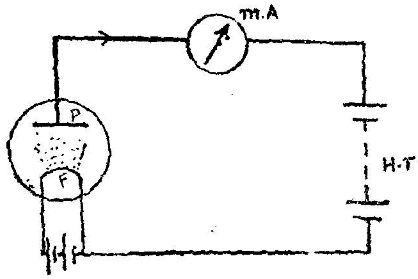
வெப்ப அயனிகளை வெளியிடும் கடத்தி அதிக உருகு நிலை (melting point) உடையதாகவும், குறைந்த வெப்ப அயனி வேலை சார் பலன் (Thermionic work function) கொண்டதாகவும் இருக்கவேண்டும், டங்ஸ்டனின் உருகுநிலை 3400°C ஆகும். இதை 2200°C-க்கு மேல் வெப்பப்படுத்த இயலாது, அதற்கு மேல் இது வெற்றிடத்தில் சூடாக்கப்படுவதால் ஆவியாகிப் போகிறது, டங்ஸ்டன் இழையைத் தயாரிக்கும்போது அதனுடன் 1% தோரியம் ஆக்சைட் (Thorium oxide) சேர்த்துச் செய்தால் அது தோரியடங்ஸ்டன் (Thoriated tungston) எனப்படும். இது வெறும் டங்ஸ்டன் இழையைவிடப் பல ஆயிரமடங்கு வெப்ப அயனி வெளியீட்டுத்திறன் கொண்டது. மேலும் இவ்விழையை 1500°—1700° வெப்பப்படுத்தினால் போதும், புவிக்கார தனி

மங்களின் (alkaline earth elements) ஆக்சைடுகள் பூசப்பட்ட நிக்கல் கலப்பு உலோக இழைகள் (800°—1000°) ஏராளமான எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகின்றன. இவை தோரிய டங்ஸ்டன் இழைகளை விட ஆற்றல் மிக்கவை.

வெப்ப அயனி வால்வுகள்
(Thermionic Valves)

(i) டையோடு (Diode)

இதனை ஃபிளமிங் (Fleming) என்பார் உருவாக்கினார். இதில் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு கண்ணாடி குமிழினுள் பொருத்தப்பட்ட எதிர்மின்முனையும் நேர்மின்முனையும் இருக்கின்றன. மின்னோட்டத்தால் சூடுபடுத்தப்படும்போது எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடும் ஒரு தோரியடங்ஸ்டன் இழை இதில் எதிர்மின்முனையாகச் செயற்படுகிறது. பொதுவாக இந்த இழை கொண்டை ஊசி (hair pin) வடிவமுடையதாக இருக்கும். இதைச் சுற்றிச் சூழ்ந்துள்ள உருளை வடிவத் தகடு நேர்மின்வாய் (anode) அல்லது தகடு (plate) என்று அழைக்கப்படுகிறது. தகடு எதிர் மின்முனையைப் பொருத்து நேர்மின்னழுத்த நிலையில் இருக்கும் போது இழை வெளியிடும் எலெக்ட்ரான்கள் தகட்டை நோக்கி விரைந்து தகட்டுச் சுற்றில் (plate circuit) மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. தகடு எதிர்மின்னழுத்த நிலையில் இருப்பின் தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படுவதில்லை. அஃதாவது இவ்வமைப்பில் மின்னோட்டம் ஒரு திசையில் மட்டுமே ஏற்பட முடியும். எனவேதான் இது வால்வ் (valve) என்றழைக்கப்படுகிறது.

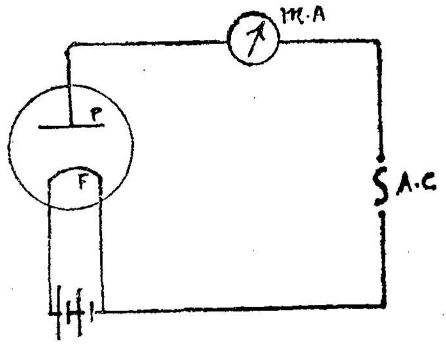


படம் 161

F : வெப்ப அயனி வெளியீட்டு இழை
P : நேர்மின் முனை அல்லது தகடு
mA : மில்லி அம்மீட்டர்

படம் 161-ல் P என்ற தகடு எப்போதும் நேர்மின்னழுத்த நிலையில் இருப்பதால் எலெக்ட்ரான்கள் தொடர்ந்து இழையி லிருந்து தகட்டை நோக்கிச் சென்றுகொண்டிருக்கும். எனவே தகட்டுச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் மில்லி அம்மீட்டர் சீரான மின்னோட்டத்தைக் காட்டும்.

162-ல் தகட்டிற்கும் இழைக்குமிடையே மாறுதிசை மின்னழுத்தம் செயற்படுவதால் தகடு மாறி மாறி நேர் மின்னழுத்த நிலையிலும், எதிர் மின்னழுத்த நிலையிலும் இருக்கும். தகடு நேர் மின்னழுத்த நிலையிலிருக்கையில் இழையிலிருந்து தகட்டை நோக்கி எலெக்ட்ரான்கள் பாய்கின்றன. ஆனால் தகடு எதிர்



படம் 162

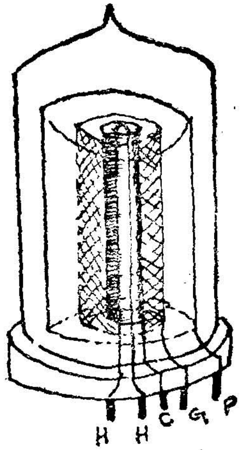
மின்னழுத்த நிலையில் இருக்கையில் எலெக்ட்ரான்கள் தகட்டை நோக்கி பாயமாட்டா. எனவே தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் இருக்காது. மறுபடியும் தகடு நேர் மின்னழுத்த நிலை அடையும் போது மீண்டும் மின்னோட்டம் உண்டாகும். இவ்வாறு தகட்டுச் சுற்றில் விட்டு விட்டு, ஆனால் ஒரே திசையில் மின்னோட்டம் நிகழும். வால்வின் இப் பண்பைப் பயன்படுத்தி மாறுதிசை மின்னழுத்தம் நேர் திசை மின்னழுத்தமாக மாற்றப்படுகிறது.

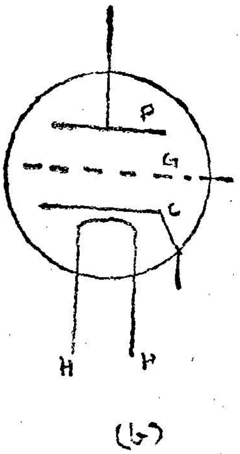
(ii) ட்ரையோடு (Triode)

எதிர்மின்முனை அல்லது இழை வெளியிடும் எலெக்ட்ரான்களைக் கட்டுப்படுத்துவதற்காக டி-ஃபாரஸ்ட் (De Forest) என்பார் மூன்றாவது மின்முனை ஒன்றைப் பயன்படுத்தினார். இஃது எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் எதிர் மின்முனைக்கும், அவற்றை ஈர்க்கும் நேர் மின்முனைக்கும் இடையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனை கிரிட் (Grid) என்பர்.

மிகுதியும் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினுள் மூன்று மின்முனைகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. படம் 163 (a) எதிர் மின்முனை என்றழைக்கப்படும் தோரியடங்ஸ்டன் இழை மின்னோட்டத்தால் சூடுபடுத்தப்படும்போது ஏராளமான எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. இது நேராகச் சூடாக்கப்படும் எதிர் மின்வாய் ஆகும். மற்றொருவகை எதிர்மின்வாயும் மிக அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது மறைமுகமாகச் சூடாக்கப்படும் எதிர்மின்வாய் எனப்படும். இது பேரியம் அல்லது ஸ்ட்ரான்ஷியம் ஆக்சைடு பூசப்பட்ட ஓர் உலோக உறை (metal sleeve) ஆகும். இதற்கு உள்ளே மின்னோட்டத்தால் பழுக்கக் காய்ச்சப்படும் டங்ஸ்டன் இழை வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. டங்ஸ்டன் கம்பி தரும் சூட்டினால் உலோக உருளையின் வெப்பநிலை உயர்ந்து அஃது எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடும்.

(ii) எதிர் மின்வாயைச் சூழ்ந்தாற் போல நிக்கல் கம்பி வலை அல்லது நிக்கல் கம்பிச் சுருள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது கிரிட் (grid) எனப்படும் இரண்டாவது மின்முனையாகும்.





படம் : 163 (a) (b)

HH : சூட்டுக் கம்பி
C : மறைமுகமாகச் சூடாக்கப்படும் எதிர்மின்முனை
G : கிரிட்
P : தகடு அல்லது நேர்மின்முனை

(iii) கிரிட்டைச் சூழ்ந்தாற்போல ஓர் உலோகத் தகட்டு உருளை வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது நேர்மின்முனை அல்லது தகடு எனப்படும்.

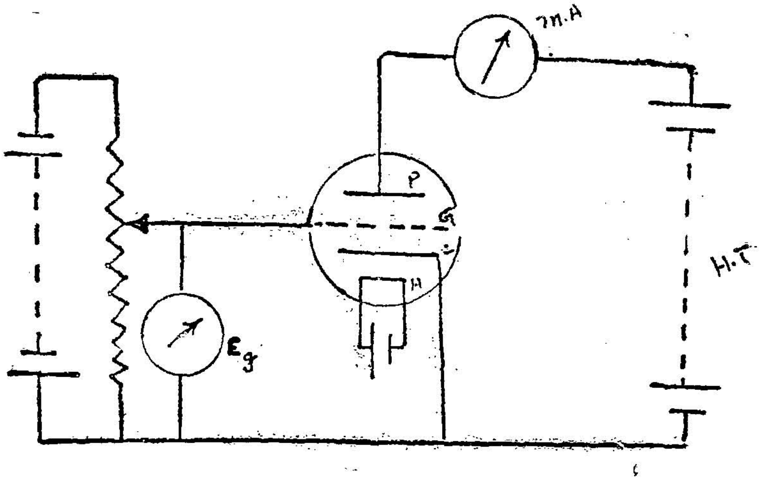
கிரிட் எதிர்மின்முனைக்கு வெகு அருகில் அமைந்திருக்கிறது. தகடு கிரிட்டில் இருந்து சிறிது தள்ளி அமைந்திருக்கிறது. மாறு திசை மின்னோட்டத்தைப் பயன்படுத்திச் சூட்டுக் கம்பி பழுக்கக் காய்ச்சப்படுகிறது. அப்போது மறைமுகமாகச் சூடாக்கப்பட்ட எதிர் மின்முனை எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. நேர்மின் முனை, எதிர்மின்முனையைப் பொருத்து மிக அதிக நேர்மின் னழுத்த நிலையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கிரிட் எவ்வித மின்னழுத் தமுமற்ற நிலையில் இருந்தால், எதிர்மின்முனை வெளியிடும் எலெக்ட்ரான்களில் நேர்மின்முனை தன் மின்னழுத்த நிலைக்கு ஏற்ற எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்களைத் தன்னை நோக்கி ஈர்ப்பதை மில்லி அம்மீட்டர் காட்டும்.

இந்நிலையில் கிரிட்டின் மின்னழுத்த நிலை எதிர் மின்முனையைப் பொருத்துச் சிறிதளவு நேர் மின்னழுத்தத்தில் இருக்குமாறு செய்தால் மில்லி அம்மீட்டர் காட்டும் மின்னோட்டம் மிகவும் அதிக மாகிறது ஏன் ? கிரிட், எதிர்மின்வாய்க்கு மிக அருகில் இருப்ப தால் அஃது எலெக்ட்ரான்களை விரைந்து ஈர்க்கிறது. அவ்வாறு ஈர்க்கப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் பெற்ற மிக அதிக வேகத்தினால் அவை கிரிட்டில் உள்ள துளைகளின் வழியாக வெளியேறித் தகட்டை அடைகின்றன. எனவே தகடு ஒரு வினாடியில் பெறு கின்ற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை முன்னைவிட அதிகமாகி விடுகிறது. எனவேதான் மின்னோட்டம் அதிகமாகிறது. இதே போன்று கிரிட் எதிர்மின்முனையைப்பொருத்துச் சிறிதளவு எதிர் மின்னழுத்த நிலையில் வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது கிரிட் எலெக்ட்ரான்களை எதிர்த்துத் தள்ளுகிறது. எனவே எதிர் மின்முனையை விட்டு வெளிக் கிளம்பும் எலெக்ட்ரான் கள் எதிர்க்கப்படுகின்றன. இதனால் தகட்டின் ஈர்ப்புத்திறன் குறைந்துவிடுகிறது. இவ்வெதிர்ப்பைத் தாண்டித் தகட்டை அடையும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகவும் குறைந்து விடுகிறது. எனவே தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் குறைகிறது.

மேற்கூறிய நிகழ்ச்சிகளிலிருந்து கிரிட்டில் ஏற்படும் சிறிய மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் (plate current) மிக அதிக மாற்றங்களை விளைவிக்கிறது. இதே அளவு மாற்றங்களைப் பெறுவதற்குத் தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை மிகப் பெரிய அளவில் மாறுதல் செய்ய வேண்டியிருக்கும்.

ட்ரையோடு பண்பு வரைபடங்கள்
(Triode Characteristic Curves)

ட்ரையோடில் தகட்டு மின்னோட்டத்தின் அளவு, கிரிட் மின்னழுத்தம், மற்றும் தகட்டு மின்னழுத்தம் இவற்றைப் பொருத்தது எனக் கண்டோம். இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்புகளை வரைபடங்களின் மூலம் காட்டலாம். இவ் வரைபடங்கள் பண்பு வரைபடங்கள் எனப்படும். கிரிட் மின்னழுத்தத்தை மாறாமல் வைத்துத் தகட்டு மின்னழுத்தத்திற்கும் தகட்டு மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினைக் காட்டும் வரைபடம் நேர்மின் வாய் தனிப் பண்பு வரைபடங்கள் (Anode characteristic curves) எனப்படும். நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை மாறாமல் வைத்து விட்டுக் கிரிட் மின்னழுத்த நிலைக்கும், தகட்டு மின்னோட்டத்திற்கு மிடையே உள்ள தொடர்பினைக் காட்டும் வரைபடங்கள் பரிமாற்றப் பண்பு வரைபடங்கள் (Mutual Characteristic curves) எனப்படும். இவ்விருவகை வரைபடங்களுள் பரிமாற்றப் பண்பு வரைபடம் மிகவும் பயன் உள்ளது. அதனைப் பெறும் முறையினைச் சிறிது பார்ப்போம்.

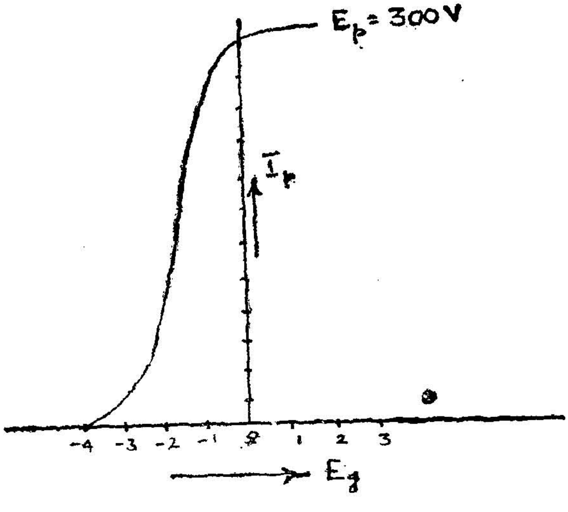


படம் 164

வால்வின் *D* என்ற எதிர்மின்முனை நேரடியாகச் சூடாக்கப்பட்டு எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடுகிறது. (படம் 164) H, T என்ற மிக அதிக மின்னழுத்தம் தரும் மின்கல அடுக்குகளின் உதவியால் தகடு உயர்ந்த நேர் மின்னழுத்த நிலையில் வைக்கப்

பட்டிருக்கிறது, G, B என்ற மற்றொரு மின்கல அடுக்கின் முனைகள். ஒரு மின்தடைமாற்றி (Rheostat)யின் இரு நிலையான முனைகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தடைமாற்றியின் மாற்றத் தகுமுனை கிரிட்டுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. V என்ற வோல்ட் மீட்டர் கிரிட் பெறுகின்ற மின்னழுத்த நிலையைக் காட்டுகிறது. படத்தில் கிரிட் எதிர் மின்னழுத்தம் பெறும் வகையில் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

தகட்டை 300 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தில் நிலையாக வைத்து விட்டுக் கிரிட்டின் எதிர் மின்னழுத்த நிலையை அதிகமாக்கிக் கொண்டே சென்றால் குறிப்பிட்ட ஒரு கிரிட் மின்னழுத்தத்திற்குத் தகட்டு மின்னோட்டம் சுழியாகிவிடும். இந்நிலை உண்டாக்கும்



படம் 165

கிரிட் மின்னழுத்தம் துண்டிக்கும் மின்னழுத்தம் (Cut off voltage) என்று கூறப்படுகிறது. படம் 165-ல் —4 வோல்ட் என்பது துண்டிக்கும் மின்னழுத்தமாகும்.

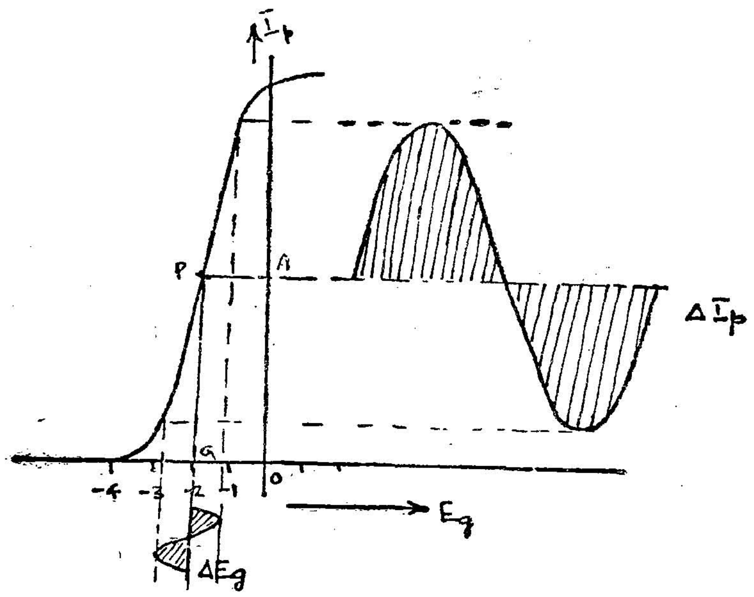
பின்னர் கிரிட் மின்னழுத்தத்தை நேர்த்திசையில் அதிகரித்துக் கொண்டே வந்தால் தகட்டு மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கும். கிரிட் மின்னழுத்தத்திற்கும் தகட்டு மின்னோட்டத்திற்குமாக வரையப் படும் வரைபடம், படம் 165ல் காட்டியுள்ளதைப் போல் இருக்கும். இது 300 வோல்ட் தகட்டு மின்னழுத்தத்திற்கு (Ep)

உரிய பரிமாற்ற வரைபடம் எனப்படும். இது போன்ற வெவ்வேறு தகட்டு மின்னழுத்தத்திற்குரிய பரிமாற்ற வரைபடங்களைப் பெறலாம். மேலே காணும் வரைபடத்தில் மேலே ஒரு வளைவும், கீழே ஒரு வளைவும் இடையே நேர்க்கோட்டுப்பகுதியும் காணப்படுகின்றன.

ட்ரையோடைப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தல் (Triode used as an amplifier)

ட்ரையோடு எவ்வாறு பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதைப் பின்வரும் படம் விளக்குகிறது.

பரிமாற்ற இயல்பு வரை படத்தின் நேர்க்கோட்டுப் பகுதியை எடுத்துக் கொள்வோம். *P* என்பது அதன் மையப்புள்ளி. இதைச் செயற் புள்ளி (Working point) என்று கூறுவர். இதற்கு உரிய



படம் 166

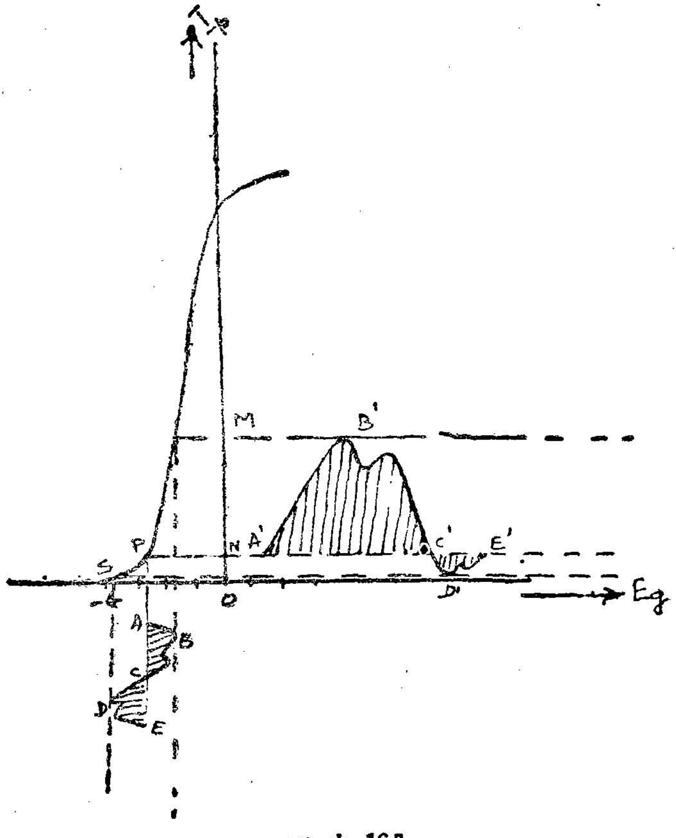
Eg ; கிரிட் மின்னழுத்தம்
Ip : தகட்டு மின்னோட்டம்
△*Eg* : கிரிட் மின்னழுத்த மாற்றம்
△*Ip* : தகட்டு மின்னோட்ட மாற்றம்

கிரிட் மின்னழுத்தம் *OG* ஆகும். கிரிட்டுக்கும் எதிர்மின்முனைக்கும் இடையில் △*Eg* என்ற அளவுடைய ஒரு மாறு மின்னழுத்தம்

(Variable potential) தரப்படுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். இதனால் கிரிட்டின் மின்னழுத்தம் $OG-\triangle Eg$ மற்றும் $OG+\triangle Eg$ என்ற மின்னழுத்தங்களுக்கிடையே மாறிக்கொண்டிருக்கிறது. இம் மாற்றம் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் பெரிய மாறுதல்களை விளைவிக்கிறது. அங்குத் தகட்டு மின்னோட்டம் $OA+\triangle Ip$ மற்றும் $OA-\triangle Ip$ ஆகிய மின்னோட்டங்களுக்கிடையே மாறுபடுவதைக் காண்கிறோம். கிரிட் மின்னழுத்தத்தில் ஏற்படுகின்ற சிறிய மாறுதல்கள் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் பெரிய மாற்றங்களைத் தருவதால் இவ்வமைப்பு பெருக்கி (amplifier) எனப்படுகிறது.

ட்ரையோடு திருத்தியாகப் பயன்படல் (Triode as a rectifier)

ட்ரையோடு எவ்வாறு திருத்தியாகப் பயன்படுகிறது என்பதை இங்குள்ள படம் விளக்குகிறது.



படம் 167

பரிமாற்றப் பண்பு வரை படத்தின் கீழ் வளைவினை எடுத்துக் கொள்வோம். இங்குக் கீழ் வளைவின் மையமாகிய P-என்பது செயற் புள்ளியாகும். இதற்குரிய கிரிட் மின்னழுத்தம் OG ஆகும். கிரிட்டுக்கும் எதிர்மின் முனைக்கும் இடையே மாறு மின்னழுத்த முடைய ரேடியோ அலைகளைச் செலுத்துவதாகக் கொள்வோம், அதில் ABC நேர் அரைச் சுற்று (positive half cycle) மற்றும் CDE–என்பது எதிர் அரைச்சுற்று ஆகும். ABC என்ற நேர் அரைச் சுற்றின்போது கிரிட்டின் மின்னழுத்தம் OG-யிலிருந்து OQ-என்ற அளவிற்கு உயர்கிறது. அப்போது தகட்டு மின்னோட்டம் ON-என்ற அளவிலிருந்து OM-என்ற அளவாக உயர்கிறது. CDE-என்ற எதிர் அரைச்சுற்றின்போது கிரிட் மின்னழுத்தம் OG-யிலிருந்து மேலும் OS-க்குக் குறைந்து செல்கிறது இதனால் தகட்டு மின்னோட்டம் ON-லிருந்து சுழியாகக் குறைகிறது. எனவே தகட்டு மின்னோட்டம் சுழிக்கும் OM-க்குமாக ஏறி இறங்கிக் கொண்டிருக்குமே தவிர எதிர்த்திசையில் செல்வதில்லை. இவ்வாறு ஒரு ட்ரையோடு திசைமாறு மின்னழுத்தங்களை ஒரு திசை மின்னழுத்தமாகத் திருத்திவிடுகிறது; இந்நிகழ்ச்சி திருத்தல் (rectification) எனப்படுகிறது.

ட்ரையோடு பண்பேற்றியாக செயற்படல்

(Triode of Modulator)

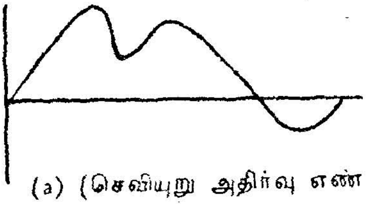
பண்பேற்றம் (Modulation)

வானொலி நிலையங்களில் ஒலிப்பெருக்கிக்கு முன்னால் பேசும் போதோ, பாடும்போதோ ஒருவர் உண்டாக்கும் செவியுறு அதிர்வெண் கொண்ட ஒலிகள் செவியுறு அதிர்வெண் கொண்ட மின் அலைவுகளாக (electrical oscillations) மாற்றப்படுகின்றன. இவை ஒலிபரப்பியில் உண்டாக்கப்படுகின்ற உயர்ந்த அதிர்வெண் கொண்ட ரேடியோ அலைகள் அல்லது ஊர்தி (carrier) அலைகளின் மீது ஏற்றப்படுகின்றன. இவ்வாறு மேற்கூறிய இரு அலைகளையும் கலக்கும்போது உண்டாகும் விளைவு அலைகளுக்கு ஊர்தி அலைகளின் அதிர்வெண்ணும் செவியுறு அதிர்வெண் அலைகளின் வீச்சு மாற்றமும் கொண்டிருக்கும்.

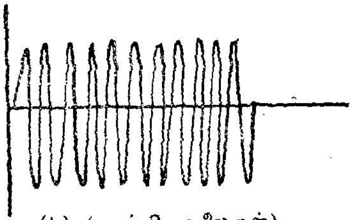
அதாவது ஒரே அளவுடைய வீச்சுடனும் மிக உயர்ந்த அதிர் வெண்ணுடனும் உண்டாக்கப்பட்ட ரேடியோ அதிர்வெண் அலைகள் வீச்சும் அதிர்வெண்ணும் மாறிக்கொண்டே இருக்கும் செவியுறு அதிர்வெண் அலைகளுடன் சேர்வதால் உண்டாகும் பண்பேற்றப் பட்ட அலைகளின் வீச்சு செவியுறு அதிர்வெண் அலைகளின் அலைவு களுக்கு ஏற்ப மாறிக் கொண்டிருக்கும். எனவே இம்முறை வீச்சுப் பண்பேற்றம் (amplitude modulation) எனப்படுகிறது.

ஒலிப்பெருக்கியின் முன்னால் உண்டாக்கப்பட்ட செவியுறு ஒலி அலைகள் செவியுறு அதிர்வெண் மின் அலைவுகளாக AB என்ற இடத்தில் புகுத்தப்படுகின்றன. அலை பரப்பியின் மற்றொரு பகுதி யில் உண்டாக்கப்படுகின்ற உயர் அதிர்வெண் கொண்ட ரேடியோ அதிர்வெண் அலைகள் CD என்ற இடத்தில் புகுத்தப்படுகின்

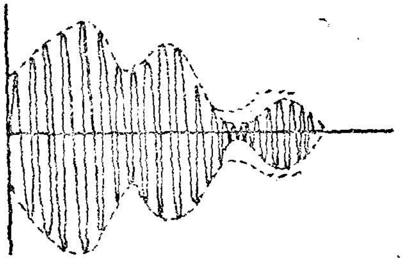
றன. *E* என்ற முனையில் மாறா எதிர் மின்னழுத்தம் (*GB*) தரப்படுகிறது. *RFC* என்பது ரேடியோ அதிர்வெண் அடைப்பானாகும்.



(a) (செவியுறு அதிர்வு எண் அலை)



(b) (ஊர்தி அலைகள்)



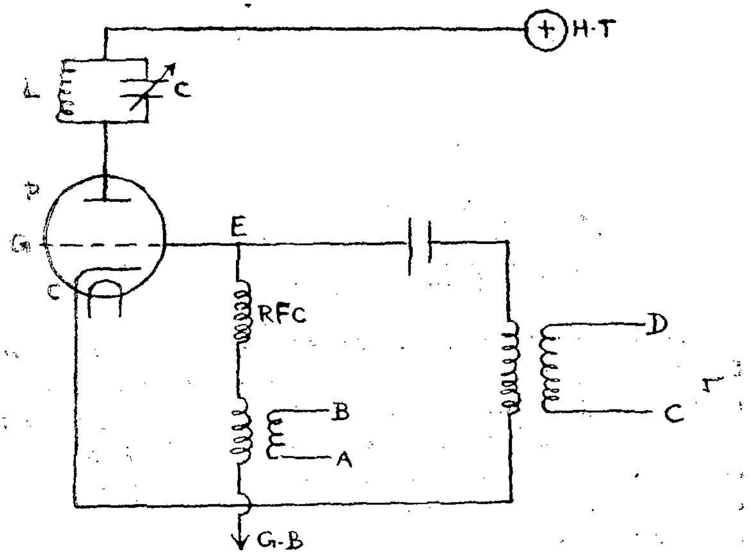
(c) (பண்பேற்றம் பெற்ற அலைகள்)

படம் 168 (a), (b), (c)

இது ரேடியோ அதிர்வெண் மின்னழுத்தம் எதிர் மின்னழுத்தத்துடன் கலந்து விடாமல் வழியை அடைத்துவிடுவதால் அடைப்பான் எனப் பெயர் பெறுகிறது. E–ல் தரப்படும் எதிர் மின்னழுத்தம் டிரையோடு வால்வின் துண்டிக்கும் மின்னழுத்தத்திற்குச் (cut off voltage) சமமாக இருக்கும்; அவ்வாறின்றி அதன் மதிப்பு துண்டிக்கும் மின்னழுத்தத்திற்கு அதிகமாகவிட்டால் தகட்டுச் சுற்றில் (plate circuit) மின்னோட்டம் ஏற்படாது.

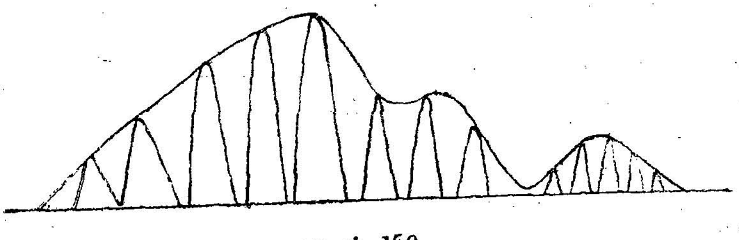
தகட்டுச் சுற்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் அமைப்பிற்கு இசைவுச் சுற்று (Tuning circuit) என்று பெயர். இது தரும் அதிர்வு

எண் கிரிட் (G)-இல் தரப்படும் ரேடியோ அதிர்வு எண் அலைவு களுக்குச் சமமாகும்.



படம் 169

இந்நிலையில் தகட்டுச் சுற்றில் படத்தில் காட்டியுள்ளது போன்ற வீச்சுமாற்றம் கொண்ட துடிப்பு மின்னோட்டம் உண்டாகும். ஆனால் இந்தத் துடிப்புகள் இசைவுச்சுற்றிலுள்ள மின்தேக்கி (C)ன் வழியாகச் செல்லும்போது அது மின்னூட்டமடைகிறது.



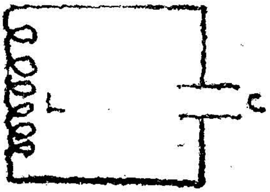
படம் 170

அது பெறுகின்ற மின்னூட்டம் துடிப்பு மின்னோட்டத்தின் வீச்சைப் பொறுத்தது. இந்த மின்னூட்டம் நிகழ அரை அலைவு நேரமாகிறது. மின்னூட்டம் பெற்ற மின்தேக்கி இசைவுச் சுற்றிலுள்ள சுருள் (coil) வழியாக ஒரு மின் துடிப்பைச் செலுத்தி மின் நீக்கம் பெறுகிறது. இதனால் படத்தில் காட்டியது போலிருந்த துடிப்பு மின்னோட்டம் முழுமை பெற்று ஒரு முழு அலைவு மின்னோட்டமாக மாறுகிறது. இவ்வலைவு மின்னோட்டத்தின் வீச்சு அளவில் மாறுபடும். எனவே கிடைக்கும் அலைவுகள் பண்பேற்றம் பெற்ற அலைகளாக இருக்கும்.

அலைபரப்பியும் ஏற்பியும்

L - C இணைப்பு (L - C circuit)

L—என்ற கம்பிச்சுருள் (inductance) ஒன்றும், C—என்ற மின் தேக்கி (condenser) ஒன்றும் படத்தில் காட்டியவாறு இணைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. மின் தேக்கி மின்னூட்டம் பெற்றது எனக் கொள்வோம். மின்னூட்டம் சுருள் வழியாகச் செல்லும்போது ஆற்றல் காந்தப்புலத்தின் வடிவில் சுருளில் தேக்கி வைக்கப்படு கிறது. இவ்வாறு ஆற்றல் முழுதும் காந்தப்புல வடிவில் தேக்கப்பட்ட பின்பு காந்தப்புலம் எதிர்த் திசையில் கம்பிச் சுருள்வழியே மின்னூட்டத் தைச் செலுத்தி மின் தேக்கியை எதிர்த் திசையில் மின்னூட்டம் பெறச் செய் கிறது. அவ்வாறு மின்னூட்டம் பெற்ற மின்தேக்கி கம்பிச் சுருளில் மின்னூட் டத்தைச் செலுத்தி ஆற்றலைக் காந்தப்புல வடிவில் தேக்குகிறது. அவ்வாற்றல் மீண்டும் மின் தேக்கியை மின்னூட்டம் பெறச் செய் கிறது. இவ்வாறே தொடர்ந்து LC இணைப்பில் மின் அலைவுகள் (electrical oscillations) உண்டாக்கப்படுகின்றன. இச் சுற்றில் மின் தடை ஏதும் இல்லையெனில் இவ்வலைவுகள் காலவரம்பின்றி அலைவுறும். ஆனால், மின்தடையில்லாத இணைப்புகளை அமைக்க முடியாது. ஆகையால் இவ்வலைவுகள் சிறிது சிறிதாகப் பலவீன முற்று இறுதியாக நின்றுவிடுகின்றன.



படம் 171

ஒரு L-C இணைப்பின் அதிர்வு எண் f பின்வரும் சமன் பாட்டி லிருந்து பெறப்படுகிறது.

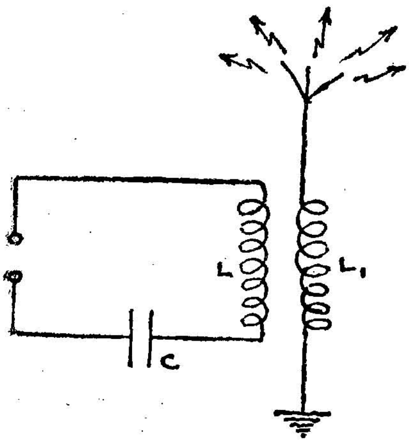
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

இங்கு L என்பது கம்பிச் சுருளின் மின் நிலைமம் (inductance) ஆகும். C என்பது மின் தேக்கியின்

தேக்குத் திறன் (Capacity) ஆகும். இவ்வாறு LC இணைப்பில் அலைவுகள் நிகழும்போது அதைச் சுற்றியுள்ள ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அவ்வலைகள் ஒளியின் திசைவேகத்துடன் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவிச் செல்லு கின்றன.

ரேடியோ அலைபரப்பி (Transmitter)

படத்தில் காட்டியிருப்பது ஓர் எளிய அலை பரப்பியாகும். இதில் மின் அலைவுகளை உண்டாக்கும் LC இணைப்பு இருக்கிறது. LC–இணைப்பு தூண்டு சுருளின் பொறி இடைவெளி (Spark gap) யுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது;



படம் 172

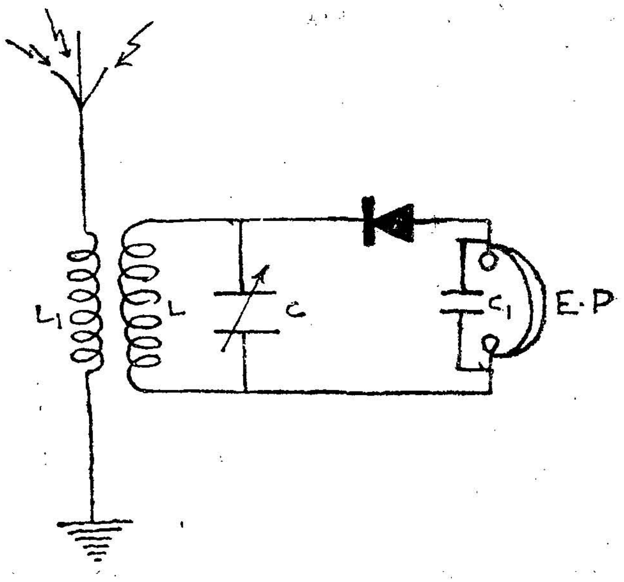
L–என்ற சுருளுடன் தூண்டல் முறையில் L_1-என்ற மற்றொரு சுருள் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றது: L_1-என்ற சுருளின் கீழ் நுனி தரையிடப்பட்டு, மேல் நுனி ஏரியல் (aerial) கம்பியுடன் இணைக் கப்பட்டிருக்கிறது. ஏரியல் மின்காந்த அலைகளை (electromagnetic waves) பல திசைகளிலும் பரப்புகின்றது.

படிக ஏற்பி (Crystal receiver)

கலீனு, கார்பொரான்டம், சிலிகான் போன்ற சில படிகங்கள் வால்வுகளைப்போலவே திருத்து பண்பு கொண்டிருக்கின்றன படிகம் குறிப்பிட்ட திசையில் மின்னோட்டத்திற்கு அதிகத் தடையும் அதற்கு எதிர்த்திசையில் மிகக் குறைந்த தடையும் தரு கிறது; இதனால் இப் படிகத்தில் குறிப்பிட்ட ஒரு திசையில்

மட்டுமே மின்னோட்டம் செல்ல இயல்கிறது. ஆகவேதான் அது திருத்து பண்பு கொண்டிருக்கிறது.

ரேடியோ நிலையங்களில் ஒலி பரப்பப்படும் நிகழ்ச்சிக் குறிகளை சுமந்து வரும் ரேடியோ அலைகள் L_1-என்ற ஏரியல் கம்பியில் விழுகின்றன. *LC* இணைப்பிலுள்ள *C*-என்ற மாறியல் மின் தேக்கியை (variable condenser) தக்கவாறு சீர் செய்து *LC* இணைப்பின் இயல்பு அதிர்வு, ரேடியோ அலைகளின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாகும்படி செய்தால் ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு *LC* இணைப்பில் அதிக மின்னோட்டம் ஏற்படும். இதனால் மின்னேற்பி யின் இரு தகடுகளுக்கு மிடையே உண்டாகும் மின்னழுத்தம்

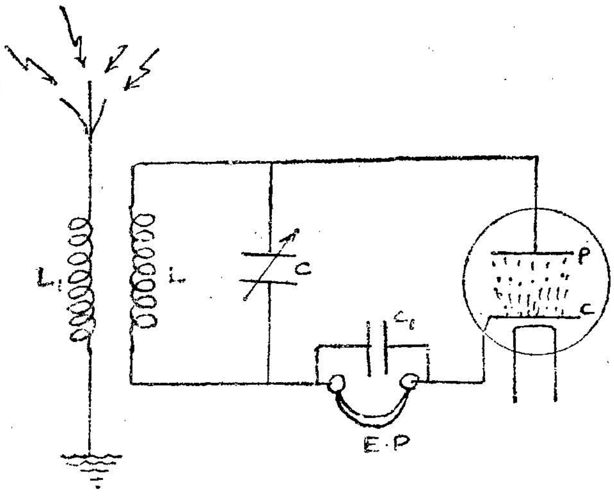


படம் 173

படிகத்தினால் திருத்தப்பட்டு ஒரு திசை மின்னழுத்தமாகிறது. இதனால் ஏற்படும் மின்னோட்டத்தில் ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும், ரேடியோ அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும் காணப் படும். ரேடியோ அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகள் C_1 என்ற தடம் மாற்றுமின் தேக்கியினால் (bypass condenser) தரையிடப்படுகிறது, ஆனால் ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறு *EP*-என்று குறிக்கப் பட்ட காதுகுழல்கள் (ear phones) வழியே சென்று அதிலுள்ள சவ்வை அதிரச் செய்து ஒலிபரப்பப்படும் நிகழ்ச்சியை மீட்டொலிக் கிறது.

டையோடு ஏற்பி (Diode receiver)

டையோடு வால்வு ஏற்பியும் படிகமும் செயல்படும் விதம் ஒரே மாதிரியாகவே இருக்கிறது. ஆனால் இங்கு மின்னோட்டத்திற்குக் காரணமான எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்க H H–என்று குறிக்கப்பட்ட சூட்டிழைகள் பயன்படுகின்றன. மேலே குறிப்பிட்டது போலவே L_1–என்ற ஏரியல் கம்பி LC இணைப்பில் மின்னோட்டத்தைத் தூண்ட C–ன் தகடுகளுக்கு இடையில் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு உண்டாகிறது. இதனால் வால்வில் ஒருதிசை மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. இம் மின்னோட்டத்தில்



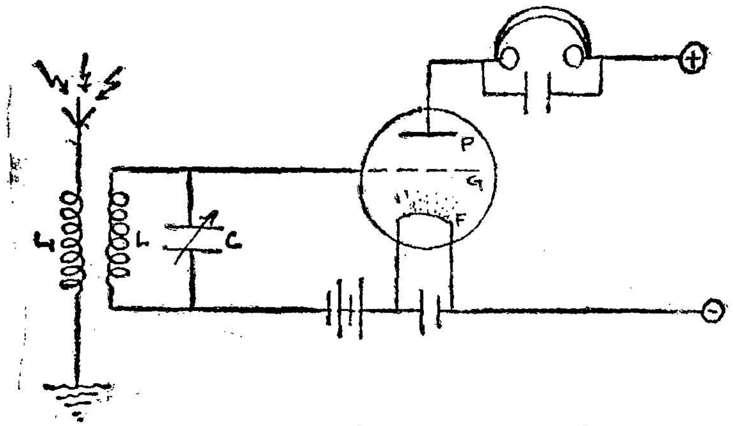
படம் 174

ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும் ரேடியோ அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும் இருக்கின்றன. ரேடியோ அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகள் C_1–என்ற தடம்மாற்று மின்தேக்கியினால் தடம் மாற்றப்பட்டுத் தரைக்குச் சென்றுவிடுகிறது. ஆனால் ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறு காது குழலின் வழியே சென்று அதிலுள்ள சவ்வை அதிர்வுறச்செய்து நிகழ்ச்சியை மீட்டொலிக்கிறது.

ட்ரையோடு ஏற்பி (Triode receiver)

கிரிட் மின்னழுத்தம், பரிமாற்ற இயல்பு வரைபடத்தின் கீழ்வளைவில் செயற்புள்ளி அமைவதற்கு ஏற்றவாறு தரப்படுகிறது.

நிகழ்ச்சிக் குறிகள் (Signals) கிரிட்முனைக்கும் எதிர்மின் முனைக்கும் இடையில் செலுத்தப்படுகின்றன. இதனால் ஏற்பட்ட தகட்டு மின்னோட்டத்தில் ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும், ரேடியோ அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகளும் காணப்படுகின்றன. ரேடியோ



படம் 175

அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறுகள் தடம்மாற்று மின்தேக்கியின் வழியாகத் தரையை அடைகின்றன. ஒலி அதிர்வு மின்னோட்டக் கூறு காது குழலின் வழியே சென்று நிகழ்ச்சியை மீட்டொலிக்கிறது.

ஒளிமின் விளைவு

(Photo Electric effect)

சில உலோகங்களின் மீது எக்ஸ்-கதிர்கள், புற ஊதாக்கதிர்கள் கண்ணுக்குப் புலனாகும் சாதாரண ஒளிக்கதிர்கள் போன்றவை படும்போது அவ்வுலோகங்களின் பரப்புகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன; இந் நிகழ்ச்சி ஒளிமின் விளைவு (photo electric effect) எனப்படுகிறது.

ஹால்வாக்ஸ் சோதனை

வாயுநீக்கம் செய்யப்பட்ட குவார்ட்ஸ் குமிழ் ஒன்றுக்குள் *A* மற்றும் *B* என்ற இரு துத்த நாகத்தகடுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. அத்தகடுகள் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி மின்கல அடுக்கு, கால்வனா மீட்டர் (*G*) ஆகியவற்றுடன், தொடர் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன

எதிர்மின் முனையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள *A* என்னும் தகட்டின் மீது புற ஊதாக் கதிர்கள் விழும்போது, கால்வனா மீட்டர் முள் அசைந்து, சுற்றில் மின்னோட்டம் பாய்வதைக் காட்டுகிறது. ஆனால் நேர்மின் முனையுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் *B* என்னும் தகட்டின் மீது புற ஊதாக்கதிர்கள் படும்போது அத்தகைய மின்னோட்டம் உண்டாவது இல்லை. இதிலிருந்து எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற தகட்டின் மீது ஒளி விழும்போது அது தன் மின்னூட்டத்தை இழக்கிறது என்றும் ஆனால் நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற தகடு அவ்வாறு மின்னூட்டத்தை இழப்பது இல்லை என்றும் அறிகிறோம். மேலும் அவ்வாறு தகடு இழப்பது எதிர்மின் அயனிகளே என்றும் தெரிகிறது. ஒளியின் ஆட்சியால் நடைபெறும் இவ்விளைவு ஒளிமின் விளைவு என்றும் இந் நிகழ்ச்சியில் வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் (எதிர்மின் அயனிகள் எலெக்ட்ரான்களே என அறியப்பட்டது) ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் (photo electrons) என்றும், உண்டாகும்

மின்னோட்டம் ஒளி மின்னோட்டம் (photo electric current) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

துத்த நாகம் மட்டுமன்றி மெக்னீஷியம் லிதியம், சோடியம், பொட்டாசியம், ருபிடியம் போன்ற உலோகங்களும் புற ஊதாக் கதிர்களின் ஆளுகைக்கு உட்படும் போது ஒளி எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகின்றன.

இவற்றில் சோடியம், பொட்டாசியம், ருபிடியம் போன்றவை சாதாரண ஒளியின் கீழும் ஒளிமின் விளைவைத் தருகின்றன.

இவ்விளைவினால் உண்டாகும் எலெக்ட்ரான்களின் அளவு, பண்பு ஆகியவை இவ்விளைவினை ஏற்படுத்துகின்ற கதிர்வீச்சுகளை மட்டுமன்றி இவ்வினைக்குட்படுகின்ற பொருட்களையும் பொறுத்திருக்கின்றன.

ஒளிமின் விளைவு விதிகள் (Laws of photo electric effect)

1) ஒளி மின்னோட்டத்தின் வலிமை, அதைத் தோற்றுவிக்கும் ஒளியின் செறிவுக்கு ஏற்ப மாறுகிறது. மிகப்பொலிவுள்ள ஒளி, அதிக ஒளி மின்னோட்டத்தையும், மங்கலான ஒளி குறைந்த மின்னோட்டத்தையும் தருகின்றன. ஒளி மின்கலத்தின் நேர்முனைக்கும், எதிர்முனைக்குமிடையில் பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்து ஒளி மின்னோட்டம் தெவிட்டு நிலையை (Saturation) அடையும்.

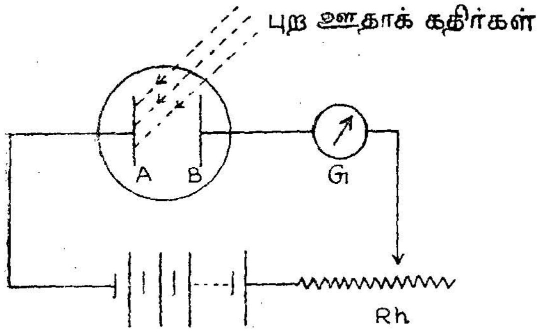
2) வெளிவரும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம், மற்றும் அதனால் உண்டாகும் இயக்க ஆற்றல் ஆகியவை, படுஒளியின் செறிவினைப் பொறுத்தது அல்ல. இவைபடு ஒளியின் அதிர்வெண்ணை (frequency) பொறுத்தவையாகும். எனவே அதிர்வெண் மாறாத வரை ஒளியின் செறிவினை மட்டும் மாற்றுவதனால் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் திசை வேகமோ அல்லது இயக்க ஆற்றலோ மாற்றமடைவது இல்லை.

3) ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் படுஒளியின் அதிர்வெண்ணுக்கு (v) நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் அல்லது ஒளி எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்தின் இருமடி (V^2) படுகதிரின் அதிர்வெண்ணுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் அதாவது $V^2 \propto v^2$

4) ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் கொண்ட ஒளியை விட குறைவான அதிர்வெண் கொண்ட ஒளியால், ஒளிமின் விளைவு உண்டாக்க இயலாது. ஒளிமின் விளைவைத் தூண்டுவதற்கு ஏற்ற

சிறும அதிர்வெண்ணுக்கு, பயன் தொடக்க அதிர்வெண் (Threshold frequency) என்று பெயர். இந்த அதிர்வெண் பொருளுக்குப் பொருள் வேறுபடும். பயன் தொடக்க அதிர் வெண்ணுக்குக் குறைந்த அதிர்வெண் கொண்ட ஒளி எவ்வளவு செறிவுமிக்கதாக இருப்பினும் ஒளிமின் விளைவு நிகழாது.

5) ஒளிமின் நிகழ்ச்சி ஓர் உடனடி நிகழ்ச்சியாகும். அதாவது உமிழ் பொருளின் மீது ஒளிபட்டவுடனேயே ஒளி மின்னோட்டம் தொடங்கிவிடுகிறது.

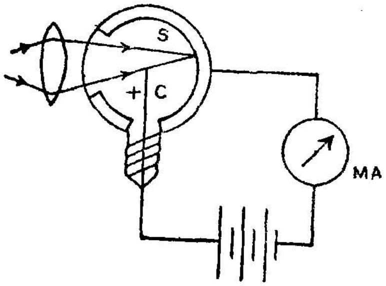


படம் 176

ஒளி மின்கலம் (photo electric cell)

காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட கண்ணாடிக்குமிழ் ஒன்றின் உட் சுவரில் ஒரு சிறு பகுதி நீங்கலாக மீதிப் பகுதியின் மீது சோடியம் போன்றதொரு காரவகை உலோகம் படியச் செய்யப்பட்டிருக் கிறது. காற்றிலுள்ள ஆக்சிஜன் காரவகை உலோகங்களுடன் விரைந்து வேதியல் மாற்றங்கள் செய்து ஒளி உணர்வு அற்ற ஆக் சைடு பரப்பினைத் தோற்றுவித்துவிடுமாதலால் குமிழினுள் சிறிதும் காற்று இல்லாதவாறு நீக்கிவிடவேண்டும். இவ்வாறு செய்யப் பட்ட குமிழ் சாதாரண ஒளியாலும் செயல்படக்கூடியது. புற ஊதாக் கதிர்களினால் செயற்படவேண்டுமானால் கண்ணாடிக் குமிழுக்குப்பதில் குவார்ட்ஸ் குமிழ் பயன்படுத்தப்பட வேண்டும். உலோகம் பூசப்படாத பகுதிக்கு ஒளி மின்கலத்தின் வாயில் (window) என்று பெயர். அதன் வழியாகத்தான் படுஒளி உள்ளே நுழைகிறது. ஒளி எலெக்ட்ரான்களை ஈர்த்து ஏற்பதற்கா, நேர் மின்னழுத்தங்கொண்ட ஏற்புவாய் (collector) ஒன்று பொருத்தப் பட்டிருக்கும். ஒளி உணர்வுடைய உலோகப் பூச்சு எதிர் மின்னழுத் தம் தரப்பட்டிருக்கும்.

ஒளி மின்கலத்தின் வாயில் வழியே உள்ளே புகும் ஒளிக்கதிர் ஒளி உணர்வுப் பரப்பு (S)ன் மீது விழ ஒளிமின் விளைவு உண்டாகி, ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன. இவை நேர்மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள ஏற்பு வாயினால் (C) ஈர்த்து இழுக்கப்பட்டு வெளிச் சுற்றில் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. இம் மின்னோட்



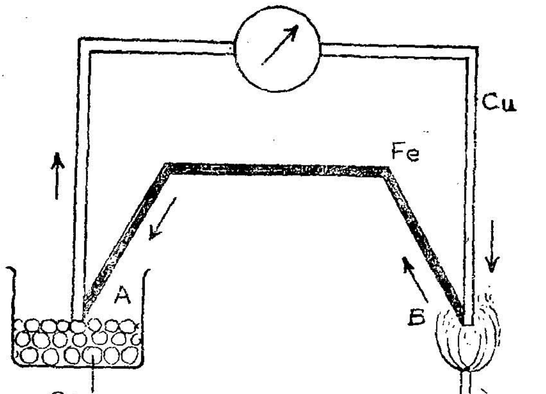
படம் 177

டம் மில்லி அம்மீட்டரினால் அளவிடப்படுகிறது. ஒளியின் செறிவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க வெளிவிடப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கிறது இதனால் ஒளி மின்னோட்டத்தின் வலிமை அதிகரிக்கிறது. ஒளிபடுவதைத்தடுத்து விட்டால் உடனடியாக மின்னோட்டமும் நின்று விடுகிறது. ஏறி இறங்கும் செறிவினைக் கொண்ட ஒளி படும்போது வெளிச் சுற்றில் ஒளி மின்னோட்டமும் அதே வீதத்தில் ஏறி இறங்குகிறது. இதனைப் பயன்படுத்தித் தான் ஒளிப்படங்களில் ஒலிப்பதிவும், மீட்டொலித்தலும் செய்யப் படுகின்றன. சேமிப்புப் பெட்டகங்களைத் திறக்க முயலும் திருடர்களைக் காட்டும் அறிவுப்புமணி, தொழிற்சாலைகளிலும், நூலகங்களிலும் பயன்படும் தானியங்கி எண்ணிகள் (automatic counters) சூரிய ஒளிபட்டவுடன் தெருவிளக்குகளைத் தானே அணைத்துவிடும் தானியங்கி சாவிகள் (automatic switches) போன்றவை ஒளி மின் கலத்தினால் உண்டான நன்மைகளில் சிலவாகும்,

வெப்ப மின் விளைவு
(Thermo electric effect)

சீபெக் விளைவு (Seebeck effect)

செம்பு மற்றும் இரும்பு போன்ற இரு வேறு வகையான உலோகத் தண்டுகள் அல்லது கம்பிகளைக் கொண்டு ஒரு சுற்று அமைத்து அச்சுற்றில் ஒரு கால்வனோ மீட்டரையும் இணைப்போம். கம்பிகள் ஒன்றை ஒன்று சந்திக்குமிடங்கள் சந்திப்புகள் (junctions) என்றழைக்கப்படுகின்றன. படத்தில் *A* என்ற



படம் *178*

சந்திப்பு பனித் தொட்டியில் அமிழ்த்தி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது குளிர் சந்திப்பு என்று பெயர். *B* என்ற சந்திப்பு புன்சன் விளக்கு ஒன்றால் சூடேற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு இச்சுற்றின் இரு சந்திப்புகளுக்குமிடையே ஒரு வெப்பநிலை வேறுபாடு உண்டாக்கப் படும்போது கால்வனாமீட்டரின் குறிமுள் அசைந்து சுற்றில்

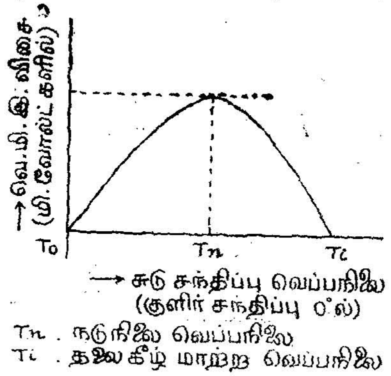
மின்னோட்டம் செல்வதைக் காட்டுகிறது. அம்மின்னோட்டத்தின் திசை படத்தில் காட்டியுள்ளபடி சுடு சந்திப்பில் (hot junction) செம்பிலிருந்து இரும்பிற்கும், குளிர் சந்திப்பில் இரும்பிலிருந்து செம்புக்கும் செல்வதைக் காட்டுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியை 1826ல் சீபெக் என்பார் முதலில் கண்டறிந்தார். எனவே இவ்விளைவு சீபெக் விளைவு என்றழைக்கப்படுகிறது.

மேலே குறிப்பிட்டவாறு இருவேறு வகைப்பட்ட உலோகங்களைக் கொண்ட இவ்வமைப்பிற்கு வெப்ப இரட்டை (Thermo couple) என்றும், இவ்விளைவினால் சுற்றில் உண்டாகும் மின்னோட்டத்திற்கு வெப்ப மின்னோட்டம் (Thermo electric current) என்றும், இம்மின்னோட்டத்தைத் தரும் மின்னியக்கு விசைக்கு வெப்ப மின்னியக்கு விசை (Thermo EMF) என்றும் பெயர்.

இரு சந்திப்புகளும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருப்பின் சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படுவது இல்லை. சந்திப்புகளில் ஒன்று மற்றொன்றைவிட உயர்ந்த வெப்ப நிலையில் இருக்குமாறு செய்யப் பட்டால் மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. அவ்வாறு உண்டாகும் மின்னோட்டம் சந்திப்புகளுக்கிடையே உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. ஆனால் இந்த மின்னியக்கு விசையை வோல்ட் மீட்டர் கொண்டு அளவிட இயலாது. இதன் அளவு மிகமிகக் குறைவானது. எனவே மின்னழுத்தமானி கொண்டுதான் இதனை அளவிட இயலும்; மேலும் சுடு சந்திப்பு தொடர்ந்து சூடாக்கப்பட்டால், உண்டாகும் வெப்ப மின்னியக்கு விசையும் தொடர்ந்து அதிகரித்துக் கொண்டே செல்வதையும், ஆனால் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் மின்னியக்கு விசையின் அளவு பெரும நிலை (Maximum) அடைவதையும், அதற்கு மேலும் தொடர்ந்து சுடு சந்திப்பின் வெப்பநிலையை உயர்த்தினால் மின்னியக்கு விசையின் அளவு குறையத் தொடங்கி மற்றொரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் சுழியாகி விடுவதையும் காணலாம். இதற்கான காரணங்களை எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் மட்டுமே விளக்க இயலும். அது இந்நூலின் எல்லைக்கு அப்பாற்பட்ட ஒன்றாகும்.

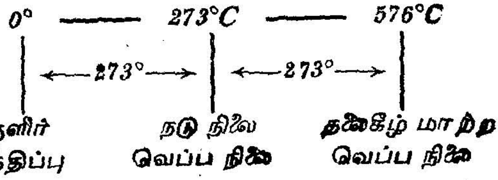
சுடு சந்திப்பின் எந்த வெப்ப நிலையில், வெப்ப இரட்டையின் மின்னியக்கு விசை பெரும நிலை அடைகிறதோ, அந்த வெப்ப நிலைக்கு நடுநிலை வெப்ப நிலை (Neutral temperature) என்று பெயர்; எடுத்துக்காட்டாக செம்பு—இரும்பு இரட்டையின் குளிர் சந்திப்பு 0°ல் இருக்கையில், சுடு சந்திப்பின் வெப்ப நிலை 273°C அடையும்

போது, பெரும மின்னியக்கு விசை தோன்றுவதைக் காண்கிறோம். எனவே செம்பு—இரும்பு இரட்டையின் நடுநிலை வெப்பநிலை 273°C ஆகும். இவ்வாறே ஒவ்வொரு இரட்டைக்கும் ஒவ்வொரு நடுநிலை வெப்ப நிலை உண்டு.



படம் 178 (a)

நடுநிலை வெப்பநிலைக்கு மேலே சுடு சந்திப்பு தொடர்ந்து சூடாக்கப்பட்டால் குறிப்பிட்ட ஒரு வெப்பநிலையில் மின்னியக்கு விசை சுழியாகும் எனக் கூறினோம். அந்த வெப்பநிலைக்கு தலைகீழ் மாற்ற வெப்பநிலை (Temperature of inversion). செம்பு—இரும்பு இரட்டையின் குளிர் சந்திப்பு 0°Cல் இருக்கையில் அதன் தலைகீழ் மாற்ற வெப்ப நிலை 576°C ஆக இருக்கக் காண்கிறோம். அதாவது நடுநிலை வெப்பநிலையிலிருந்து குளிர் சந்திப்பு வெப்பநிலையும், தலைகீழ் மாற்ற வெப்ப நிலையும் சம தூரத்தில் அமைந்திருக்கக் காண்



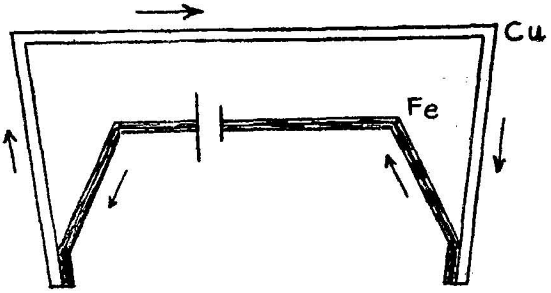
கிறோம், குளிர் சந்திப்பின் வெப்பநிலை 10°C என்றால் தலைகீழ் மாற்ற வெப்பநிலை 566°Cக்குக் குறைந்து விடுவதைக் காணலாம். எனவே ஒரு இரட்டையின் தலைகீழ் வெப்பநிலை குளிர் சந்திப்பின் வெப்ப நிலையைப் பொருத்ததே என அறியலாம்.

பெல்டியர் விளைவு (Peltier effect)

இது சீபெக் விளைவின் மறுதலை விளைவு ஆகும். இதனை பெல்டியர் என்பார் 1834ஆம் ஆண்டில் கண்டறிந்தார்;

விசை இரட்டையின் சந்திப்புகளின் வழியே மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சினால் அச்சந்திப்புகளில் வெப்ப வெளியீடு அல்லது வெப்ப உட்கவர்தல் நடைபெறுகிறது. ஒரு சந்திப்பில் வெப்பம் வெளியிடப்படுமா அல்லது உறிஞ்சப்படுமா என்பது அச்சந்திப்பில் மின்னோட்டம் பாயும் திசையைப் பொருத்திருக்கிறது.

இரும்பு—செம்பு இரட்டையின் சுற்றில் படத்தில் காட்டியவாறு ஒரு மின் கலத்தை இணைத்து மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 179

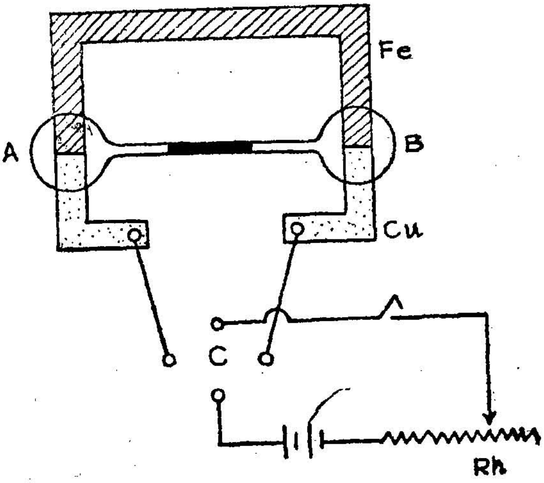
இப்போது மின்னோட்டம் பாயும் திசையிலேயே, ஸீபெக் மின்னோட்டம் பாயவேண்டுமானால் எந்த சந்திப்பு சூடாக்கப்பட வேண்டுமோ, அந்தச் சந்திப்பில் வெப்பம் உட்கவரப்படுவதையும் மற்ற சந்திப்பில் வெப்பம் வெளியிடப்படுவதையும் காணலாம்.

பெல்டியர் விளைவிற்கு செயல் விளக்கம் தருவதற்கான சோதனை

தடித்த தண்டுகளைக் கொண்டு அமைத்த செம்பு—இரும்பு இரட்டைகளின் சந்திப்புகள் படத்தில் காட்டியவாறு *A* மற்றும் *B* என்ற இரு கண்ணாடிக் குமிழ்களுக்குள் இருக்குமாறு பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. அக்குமிழ்கள் இரண்டையும் இடைமட்டத்தில் அமைந்த ஒரு மெல்லிய கண்ணாடிக் குழாய் இணைக்கிறது. அக் குழாயின் மையத்தில் பாதரச கோலி (pellet) ஒன்றுள்ளது. இரட்டை வழியே தேவையான திசையில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சுவதற்கு மின் திசை மாற்றியுடன் கூடிய மின்சுற்று ஒன்று படத்தில் காட்டியவாறு அமைக்கப்படுகிறது.

A சந்திப்பில் செம்பிலிருந்து இரும்பிற்கும் *B* சந்திப்பில் இரும்பிலிருந்து செம்புக்கும் மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும்போது பாதரச கோலி *BA* என்ற திசையில் (அதாவது *A*ஐ நோக்கி) நகருவதைக் காணலாம். இது *B* என்ற சந்திப்பு சூடாவதையும்

A என்ற சந்திப்பு குளிர்வதையும் காட்டுகிறது. *B* சந்திப்பு சூடாவதால் அக்குமிழிலுள்ள காற்று விரிவடைந்து பாதரச கோலியை *A*ஐ நோக்கித் தள்ளுகிறது. பெல்டியர் விளைவுப்படி இரும்பிலிருந்து செம்பிற்கு மின்னோட்டம் செல்லும் *B* சந்திப்பு சூடாக வேண்டும். செம்பிலிருந்து இரும்பிற்கு மின்னோட்டம் செல்லும் *A* சந்திப்பு



படம் 180

குளிர வேண்டும். மேற் கூறிய சோதனையில் பெல்ட்டியர் கூற்றுப்படி நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறக் காணலாம்.

மின்னோட்டத்தின் திசையை மாற்றி எதிர்த் திசையில் செலுத்தும் போது *A* குமிழிலுள்ள சந்திப்பு சூடாவதையும், *B* குமிழிலுள்ள சந்திப்பு குளிர்வதையும் காணலாம். பாதரச கோலி *AB* என்ற திசையில் *B*ஐ நோக்கி நகரக் காணலாம். இதிலிருந்து பெல்ட்டியர் விளைவில் உண்டாகும் வெப்பம் ஜூல் விளைவில் உண்டாகும் வெப்பம் போன்றது அல்ல என்று அறிகிறோம். ஏனெனில் ஜூல் விளைவில் உண்டாகும் வெப்பம் மின்னோட்டத்தின் திசையைப் பொருத்தது அல்ல. ஆனால் பெல்டியர் விளைவில் ஒரு திசையில் மின்னோட்டம் பாயும் போது வெப்ப வெளியீடும், அதற்கு எதிர்த் திசையில் மின்னோட்டம் பாயும் போது உட்கவர்தலும் நடைபெறுகின்றன.

இந்நிகழ்ச்சியையும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் உதவியால் தான் விளக்கிட இயலும். இதுவும் இந்நூலின் எல்லைக்கு அப்பாற்பட்ட ஒன்றே ஆகும்.

தாம்சன் விளைவு (Thomson effect)

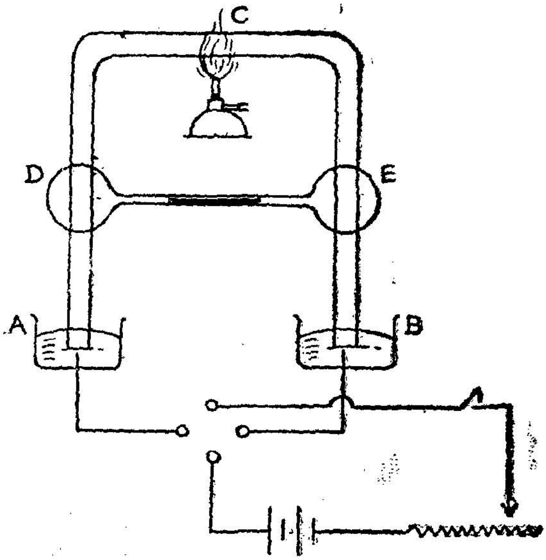
வெப்ப இரட்டை ஒன்றின் சந்திப்புகளில், பாயும் மின்னோட்டத்தின் திசையைப் பொருத்து வெப்ப வெளியீடோ அல்லது வெப்ப உட்கவர்தலோ நடைபெறும் என்று பெல்டியர் கூறினார். ஆனால் தாம்சன் என்பார் சந்திப்புகளில் மட்டுமின்றி வெப்ப இரட்டையின் உலோகத்தண்டு அல்லது கம்பிகளின் வழியே மின்னோட்டம் நிகழும் போது வெப்ப உட்கவர்தல் அல்லது வெப்ப வெளியீடு நிகழ்கிறது எனக் காட்டினார். வெப்ப இரட்டையில் உள்ள உலோகத் தண்டுகளின் முனைகள் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் இருப்பதால் அவற்றில் வெப்ப ஏற்பு அல்லது வெப்ப வெளியீடு நடைபெறுகிறது. அதாவது சீராக சூடு செய்யப்படாத ஒரு கடத்தியின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்போது அக்கடத்தி வெப்பத்தை ஏற்கவோ அல்லது வெளியிடவோ செய்கிறது.

எடுத்துக்காட்டாக செப்புத்தண்டு ஒன்றின் ஒருமுனை கீழ் வெப்ப நிலையிலும் மறுமுனை உயர் வெப்ப நிலையிலும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இத்தண்டின் குளிர்முனையிலிருந்து சுடுமுனைக்கு மின்னோட்டம் பாய்ச்சினால் தண்டின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் வெப்பம் உட்கவரப்படும்; மின்னோட்டத்தின் திசையை மாற்றி சுடு முனையிலிருந்து குளிர் முனைக்கு மின்னோட்டத்தை பாய்ச்சினால் தண்டின் எல்லாப் பகுதிகளிலிருந்தும் வெப்பம் வெளிவிடப் படுகிறது. செம்பு, வெள்ளி, துத்தநாகம், ஆன்டிமனி, கேட்மியம் போன்ற பொருட்களில் தாம்சன் விளைவு நேர்க் குறியுடையதாக இருக்கிறது. ஆனால் இரும்பு, பிஸ்மத், கோபால்ட், பிளாட்டினம், நிக்கல் போன்ற உலோகங்களில் தாம்சன் விளைவு எதிர்க்குறி உடையதாக இருக்கிறது. இவற்றில் குளிர் முனையிலிருந்து சுடுமுனைக்கு மின்னோட்டம் நிகழும் போது வெப்ப வெளியீடும், சுடுமுனையிலிருந்து குளிர் முனைக்கு மின்னோட்டம் நிகழும் போது வெப்ப உட்கவர்தலும் நடைபெறுகின்றன.

தாம்சன் விளைவுக்கான செயல்முறை விளக்கம்

இரும்பாலான ACB என்ற ஒரு தண்டு படத்தில் காட்டியவாறு வளைக்கப்பட்டு அதன் முனைகள் தனித்தனியாக இருகிண்ணங்களில் ...ள பாதரசத்தை தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்றன. உலோகத் தண்...டின் வழியே ACB அல்லது BCA என்ற திசையில் மின்னோட்டத்...தை செலுத்துவதற்கேற்ற மின் திசை மாற்றியுடன் கூடிய சுற்று ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. A மற்றும் B என்ற முனைகளிலிருந்து சம தூரத்திலமைந்த D மற்றும் E என்ற பகுதிகளை

இரு கண்ணாடிக் குமிழ்கள் சூழ்ந்துள்ளன. அக்கண்ணாடிக்குமிழ்களி டைமட்டத்திலமைந்த ஒரு மெல்லியக் கண்ணாடிக்குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. அக்குழாயினுள் ஒரு பாதரசக் கோலி (mercury pellet) வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 181

மின்சுற்றின் உதவியால் இரும்புத் தண்டின் வழியே ACB என்ற திசையில் மின்னோட்டம் செலுத்தப்படுகிறது. இப்போது பாதரசக் கோலி DE என்ற திசையில் நகரக் காணலாம். அதாவது இரும்புத் தண்டில் குளிர் முனையிலிருந்து சுடுமுனைக்கு A-யிலிருந்து C-க்கு மின்னோட்டம் பாயும்போது D என்ற குமிழினுள் அமைந்த பகுதி சூடாகிறது ஆனால் சுடுமுனை C-யிலிருந்து குளிர்முனை B-க்கு மின்னோட்டம் பாயும்போது E என்ற குமிழினுள் அமைந்த பகுதி குளிர்கிறது. எனவே பாதரசக் கோலி D-யிலிருந்து E-ஐ நோக்கித் தள்ளப்படுகிறது.

மின்னோட்டத்தின் திசையைமாற்றி BCA என்ற திசையில் செலுத்த எதிர்வகை நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறக்காணலாம். பாதரசக் கோலி ED என்ற திசையில் நகரும்.

இரும்புத்தண்டுக்குப் பதிலாக, செம்புத்தண்டு ஒன்றைப் பயன்படுத்தி மேற்கூறிய சோதனையைச் செய்தால் D மற்றும் E என்ற பகுதிகளில் இரும்புத்தண்டில் நிகழ்ந்த நிகழ்ச்சிகளுக்கு எதிரிடையான நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுவதைக் காணலாம். எனவே இரும்பில் நடைபெறும் தாம்சன் நிகழ்ச்சியும், செம்பில் நிகழும் தாம்சன் நிகழ்ச்சியும் எதிரெதிரான பண்புகள் கொண்டன என்பது விளங்கும்.

எக்ஸ் - கதிர்கள்

(X - Rays)

மின்னிறக்கக் குழாயினுள் நிலவும் அழுத்தம் $\frac{1}{1000}$ சென்டி மீட்டர் பாதரச அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும்போது குருக்கின் இருண்ட இடம் குழாய் முழுதும் நிரம்புகிறது என்றும், அப்போது எதிர் மின்முனைக்கு எதிர்பக்கமுள்ள குழாயின் கண்ணாடிச் சுவர் இளம் பச்சை நிறத்துடன் ஒளிர்கிறது என்றும் கண்டோம். 1895 ஆம் ஆண்டில் ராண்ட்ஜன் (Rontgen) என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து சிறிது தள்ளியிருந்த பேரியம் பிளாட்டினோசைனட் (Barium platinocynide) பூசப்பட்ட திரை ஒன்று ஒளிர்ந்ததையும், மின்னிறக்கக் குழாயைத் தடிப்பான கருப்புக் காகிதத்தால் மூடியபோதும் திரை ஒளிர்ந்ததையும் கண்டார். தடிப்பு மிக்க பல தடைப் பொருள்களைத் திரைக்கும் மின்னிறக்கக் குழாய்க்கும் இடையில் வைத்தபோது ஒளிர்தல் குறைந்ததே தவிர நின்று போகவில்லை. எனவே மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து மிகுந்த ஊடுருவும் ஆற்றல் கொண்ட 'ஏதோ ஒரு கதிர்' வெளி வருகிறது என்றுணர்ந்த ராண்ட்ஜன் அக்கதிர்களுக்கு எக்ஸ்-கதிர்கள் எனப் பெயரிட்டார்.

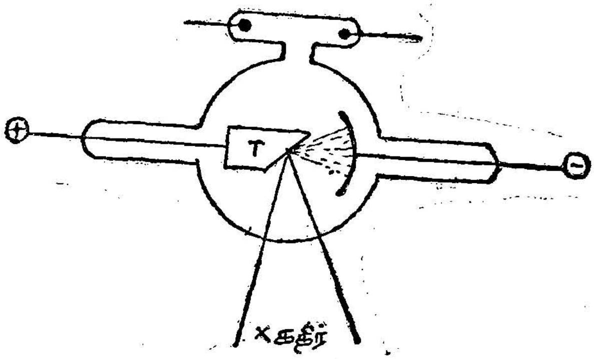
நேர் மின்முனையை நோக்கி விரைந்து செல்கின்ற எலெக்ட்ரான்கள் ஏதாவது ஒரு பொருளால் திடீரென நிறுத்தப்படும்போது, *X* கதிர்கள் உண்டாகின்றன. ஒரு வாயுவின் வழியாக மின்னிறக்கம் நடைபெறும்போதோ அல்லது வெப்ப அயனி வெளியீடு நடைபெறும்போதோ எலெக்ட்ரான்கள் கிடைக்கின்றன. இவ்வாறு இரு வகையில் பெறும் எலெட்ரான்களைக் கொண்டு இரு வேறுவகையில் *X* கதிர்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன.

(i) வாயுக் குழாய் (Gas tube)

இதில் அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்ட குழிந்த C என்ற எதிர் மின்முனையும், அதற்கு எதிரே டங்ஸ்டன் அல்லது மாலுபிடீனம் உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட இலக்கு (target) பொருத்தப்பட்ட எதிர் எதிர் முனை (anti cathode) யும் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 182) இலக்கின் முகம் குழாயின் அச்சுக்கு 45° சரித்து வெட்டப்பட்டிருக்கிறது.

A என்ற நேர் மின்முனை பக்கவாட்டில் இருக்கும் குழாய் ஒன்றுக்குள் வைக்கப்பட்டு வெளிப்பக்கமாக எதிர் எதிர் மின் முனையுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வமைப்பினால் மின்னிறக்கம் சீராக நடைபெறுகிறது. குழாயினுள் $\frac{1}{1000}$ மீ. மீ பாதரச அழுத்தம் நிலவுகிறது. எதிர்மின் முனையும் நேர்மின்முனையும் ஏறக்குறைய 30,000 வோல்ட் மின்னழுத்தம் தரும் துணைச் சுருளுடன் இணைக்கப்படுகின்றன.

எதிர்மின் முனையின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக அதை விட்டுக் கிளம்பும் எலெக்ட்ரான்கள், மின்முனை குழிவாக இருப்பதால் அதன் வளைவு மையத்தில் குவிக்கப்படுகின்றன. இலக்கின் சரிந்த முகம் வளைவு மையத்தில் இருப்பதால் விரைந்து வரும் எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கினால் தடுத்து நிறுத்தப்படுகின்றன. இதனால் T என்ற இலக்கிலிருந்து *X* கதிர்கள் வெளிவருகின்றன.



படம் 182

இக் குழாய் நீண்ட நேரம் வேலை செய்தால் இதனுள்ளிருக்கும் வாயு அழுத்தம் மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது. எனவே தரப்பட்ட மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் நடைபெறுவது கடினமாகி விடுகிறது. இப்போது குழாய் கடினமடைந்து விட்டது என்று கூறுகிறோம். குழாயிலுள்ள வாயு அழுத்தத்தை அதிகப்படுத்

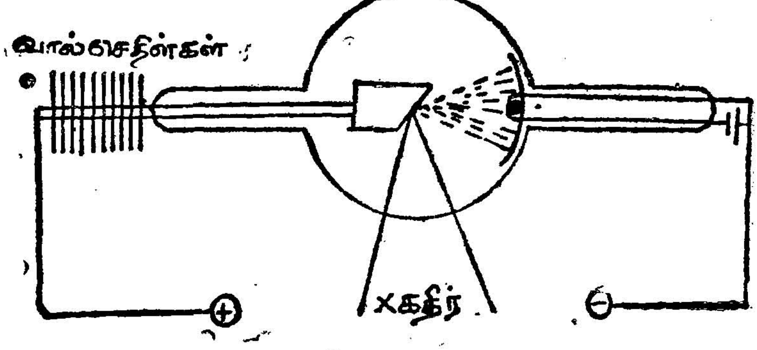
திறுல்தான் குழாய் மீண்டும் இயங்கும். குழாயின் மேற்புறத்தில் இரு மின்முனைகள் இருப்பதைக் கவனியுங்கள். அவை வாயுக்களை விழுங்கி வைத்திருக்கும் முனைகள். அவை வெப்பப்படுத்தப் பட்டால் அவை விழுங்கி இருக்கும் வாயுக்களை வெளியே விட்டு விடும். எனவே அவ்விரு மின்முனைகளையும் A-மற்றும் C-யுடன் இணைக்க அவற்றிடையே மின்னிறக்கம் உண்டாகி அவை வாயுக் களை வெளிவிடுகின்றன. இதனால் குழாயினுள் அழுத்தம் அதிக மாகி மீண்டும் X கதிர்கள் வெளிவரத் தொடங்குகின்றன. இப்போது குழாய் மிருதுவாகிவிட்டது என்கிறோம். வெளி வருகின்ற X கதிர்களின் அளவும், ஊடுருவும் திறனும் குழாயி னுள் நிலவும் அழுத்தத்தைப் பொருத்திருக்கின்றன. எனவே இவற்றைச் சீராக இருக்கும்படி செய்யவேண்டுமானால் அழுத்தம் சீராக இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இது முடியாத செயல். எனவே வாயுக் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் X கதிர் களின் அளவையும் ஊடுருவு திறனையும் கட்டுப்படுத்த இயலாது

கூலிட்ஜ் குழாய் (Coolidge tube)

இதனை டாக்டர் கூலிட்ஜ் என்பார் 1915 ஆம் ஆண்டில் உருவாக்கினார். இதில் எலெக்ட்ரான்கள் வெப்ப அயனி வெளி யீட்டு முறையில் வெளிவிடப்படுகின்றன. எனவே குழாயினுள் இருக்கும் வாயு முழுவதையும் வெளியேற்றிவிடலாம். மேலும் வெளியிடப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், அதன் மூலம் உண்டாக்கப்படும் X கதிர்களின் அளவையும் எளிதில் கட்டுப்படுத்தலாம். X கதிர்களின் ஊடுருவு திறன், எதிர்மின்முனை மற்றும் நேர்மின்முனை இவற்றிடையே நிலவும் மின்னழுத்த நிலையைப் பொருத்திருப்பதால் அதையும் எளிதில் கட்டுப் படுத்தலாம்.

கூலிட்ஜ் குழாயில் ஒரு கோளவடிவ மையப்பகுதியும் அதன் இரு பக்கத்திலும் இரு ஓரச்சுக் குழாய்களும் இருக்கின்றன. (படம் 183) அக் குழாய்களில் ஒன்றினுள் மின்னோட்டத்தால் சூடாக்கப்படும் தோரிய டங்ஸ்டன் இழை ஒன்று வைக்கப்பட் டிருக்கிறது. இவ்விழை ஒரு குழிந்த உலோகக் கிண்ணத்திற்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் இழையிலிருந்து வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் அக் கிண்ணத்தின் வளைவு மையத்தில் குவிக்கப் படுகின்றன. எதிர்ப்பக்கமுள்ள குழாயினுள் தடித்த செப்புத் தண்டும், அதன் முனையில் டங்ஸ்டன் இலக்கும் பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. இலக்கின் முகம் முன்போலவே 45° சாய்ந்து வெட்டப்பட்டுக் கிண்ணத்தின் வளைவு மையத்தில் வைக்கப்

பட்டுள்ளது. செப்புத்தண்டு நேர்மின் முனையாகும். குழாய்க்கு வெளியே நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் செப்புத் தண்டில் பல இணைத் தகடுகள் பொருத்தப்பட்டுக் கருப்பு நிறம் பூசப்பட்டிருக்கின்றன. இவை வால் செதில்கள் (fins) எனப்படுகின்றன. நேர்மின்முனை மற்றும் எதிர்மின்முனை இவற்றிற்கு இடையே 50,000—200,000 வோல்ட் மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. டங்ஸ்டன் இழையைச் சூடுபடுத்துவதற்குத் தனியாக மின்கல அடுக்கு பயன் படுத்தப்படுகிறது.



படம் 185
கூலிட்ஜ் குழாய்

டங்ஸ்டன் இழை சூடுபடுத்தப்பட்டவுடன் அஃது எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடுகிறது. வெளியிடப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை மிக உயர்ந்த நேர் அழுத்த நிலையிலுள்ள எதிர் மின்முனை விரைந்து இழுக்கின்றது. குழிவுக் கிண்ணம் எலெக்ட்ரான்களை அதன் வளைவு மையத்தில் குவிக்கிறது. அவ்வாறு விரைந்து செல்லும் எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் இலக்கின்மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் மோதி நிற்கின்றன. அதனால் X கதிர்கள் உண்டாகின்றன. டங்ஸ்டன் இழையில் செல்லும் மின்னோட்டத்தை அதிகரித்தால் அதன் வெப்பநிலை உயரும். இதனால் வெளிவரும் எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகும். அதிக எண்ணிக்கையுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் மோதுவதால் அதிக அளவு X கதிர்கள் கிடைக்கும். இழையில் செல்லும் மின்னோட்டத்தைக் குறைத்தால் X கதிர்களின் அளவும் குறையும். நேர் மின்முனை, மற்றும் எதிர் மின்முனை இவற்றிடை நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அதிகரித்தால் அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்ட X கதிர்களும், குறைத்தால் குறைந்த ஊடுருவு திறன் கொண்ட X கதிர்களும் கிடைக்கின்றன.

X கதிர்களின் பண்புகள்

(i) இவைகள் மிகக்குறைந்த அலை நீளமுடைய மின்காந்த அலைகளே ஆகும். இவை எல்லா வகையிலும் ஒளியைப் போன்றவையே ஆகும். ஆனால் மிகக் குறைந்த அலை நீளமுடைய இவை அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்டவை. இவற்றின் அலை நீளம் 100 ஆ. அ. முதல் 0·001 ஆ. அ வரை இருக்கின்றன.

(ii) பருப்பொருளின் வழியே செல்லும்போது இவை உட்கவரப்பட்டு, செறிவில் குறைகின்றன. பொருளின் அணு எடை அதிகரிக்க அதிகரிக்க உட்கவரப்படும் *X* கதிரின் அளவும் அதிகமாகிறது.

(iii) குறைந்த அலை நீளமுடைய *X* கதிர்கள் அதிக ஊடுருவு திறனும், அதிக அலை நீளமுடையவை குறைந்த ஊடுருவு திறனும் கொண்டிருக்கின்றன.

(iv) இவை வாயுவின் வழியே சென்றால் அவ் வாயுவில் அயனியாக்கம் செய்கின்றன.

(v) இவை சில பொருள்களில் ஒளிர்தலும் (fluorescence), நின்றொளிர்தலும் (phosphorescence) செய்கின்றன.

(vi) இவை மின்புலம் மற்றும் காந்தப் புலம் இவற்றால் பாதிக்கப்படுவதில்லை.

(vii) இவை ஒளிப்படத் தகடுகளைப் பாதித்து அவற்றில் பிம்பங்களை உண்டாக்குகின்றன.

(viii) ஒளியைப் போலவே இவை, பிரதிபலித்தல், விலகல், குறுக்கீடு, விளிம்புவிளைவு, தளவிளைவு, சிதறல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளை உண்டாக்குகின்றன.

X கதிர்களின் பயன்கள் (Uses of X-rays)

(i) *X* கதிர்களின் விளிம்புவிளைவு நிகழ்ச்சியைப் பெறச் சாதாரண கோடுகள் வரையப்பட்ட கீற்றணி பயன்படாது. அதில் உள்ள இடைவெளி *X* கதிர்களின் அலை நீளத்தைவிடப் பல ஆயிரம் மடங்கு பெரியது. எனவே சாதாரண கீற்றணியின் வழியாக *X* கதிர்கள் எளிதில் சென்றுவிடுகின்றன. படிகங்களில் உள்ள அணுக்கள் ஒழுங்கான இடைவெளியில் அமைந்து கீற்றணி போலக் காணப்படுகின்றன. எனவே X கதிர்களைப் படிகங்களின் வழியே செலுத்தி விளிம்பு விளைவு உண்டாக்கி, அதன்

மூலம் கிடைக்கின்ற விளிம்பு விளைவுப் பாங்கினை (diffraction pattern) படம் எடுத்தால் படிகங்களின் அமைப்புபற்றித் தெளிவாக அறியலாம்.

(ii) நம் உடம்பிலுள்ள எலும்பில் தசையில் இருப்பதைவிட, கனமான தனிமங்களாகிய கால்ஷியம் பாஸ்பரஸ் போன்றவை இருக்கின்றன. எனவே X கதிர்களைக்கொண்டு நம் உடலைப் படம் எடுத்தால் X கதிர்களைப் புகவிடாத எலும்புப் பகுதிகள் ஒரு விதமாகவும், X கதிர்களைப் பெருமளவு புகவிடும் தசைப் பகுதிகள் வேறுவிதமாகவும் தோற்றமளிக்கும். இதனால் எலும்பு முறிவு, கீறல் போன்ற குறையுள்ள பகுதிகளையும், அவற்றின் இயல்புகளையும் படம் எடுத்துப் பார்த்து அறிந்து தக்க சிகிச்சை அளிக்க X கதிர் படங்கள் பயன்படுகின்றன. குழந்தைகள் விழுங்கிவிடுகின்ற ஊசி, இரும்புத்துண்டுகள் போன்றவை உணவுப் பாதையில் இருக்குமிடத்தை அறிந்து அவற்றை எடுப்பதற்கு X கதிர்ப் படங்கள் உதவுகின்றன. எலும்புருக்கி நோய் இருந்தால் அதை உணரவும், குணப்படுத்தவும் X கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. உணவுக்குழல், குடல் ஆகியவற்றில் ஏற்படும் புற்றுநோய் பற்றிய விவரங்களை அறியவும், குறுக்குச் சூடு (cross fire) முறையில் அவற்றைச் சுட்டு அழிக்கவும் X கதிர்கள் பயன்படுகின்றன இன்று மருத்துவத் துறையில் X கதிர்களின் பயன் எண்ணில் அடங்காத அளவு பெருகியுள்ளது.

(iii) தொழில் துறையில் X கதிர்களின் ஊடுருவு திறன் பயன்படுத்தப்படுகிறது. வார்ப்புகள், மற்றும் பெரிய பொறிகள், அவற்றின் பகுதிகள் ஆகியவற்றில் உள்ள காற்றுக்குமிழ், கீறல்கள், வெடிப்புகள் போன்ற குறைகளைக் கண்டறிய X கதிர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. உலோகங்கள், கலப்பு உலோகங்கள் ஆகியவற்றின் படிக அமைப்பினை அறிந்து அவற்றின் உறுதி, மற்றும் தரம் இவற்றைக் கட்டுப்படுத்த X கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. இதுபோன்ற கைரேகை மற்றும் திருடர்கள் விட்டுச் செல்லும் அடையாளங்கள் ஆகியவற்றை X கதிர்களைக் கொண்டு படம் எடுத்துத் திருட்டைக் கண்டுபிடிப்பதிலும் இது போன்ற பல வகைகளிலும் X கதிர்கள் பயன்படுகின்றன.

பிராக் விதி

(Bragg's law)

எக்ஸ்-கதிர்கள் பருப்பொருட்களினூடே ஊடுருவிச் செல்ல வல்லன என்றாலும் அக் கதிர்களின் ஒரு சிறு பகுதி பொருளணுக்களினால் சிதறலடைய நேரிடுகிறது. ஒரு படிகத்தைத் தட்டி உடைக்கும் போதோ அல்லது விசையியல் அழுத்தங்களுக்கு உட்படுத்தித் திரிபுறச் செய்யும் போதோ, அப்படிகம் குறிப்பிட்ட சில தளங்களில் பிளவுறுவதைக் காணலாம். அத்தகைய தளங்களில் அப்பொருளின் அணுக்கள் செறிந்து காணப்படும். அத் தளங்களைப் பிளவுறு தளங்கள் (cleavage planes) என்பர். ஒரு பிளவுறு தளத்திற்கு இணையாக சம இடைவெளியில் அமைந்த பல தளங்கள் காணப்படும். அவைகளை அடுக்குகள் (layers) என்று கூறுவர்.

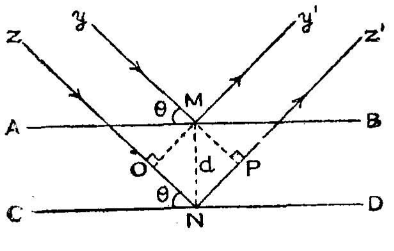
படிகத்தினூடே செல்லும் எக்ஸ்-கதிர்கள் ஓரளவு விலகலடையும் என்றாலும், சிக்கலான விளக்கத்தைத் தவிர்க்கும் பொருட்டு எக்ஸ்-கதிர்கள் விலகலடையவில்லை என்று வைத்துக் கொள்வோம்.

படம் 183 a–ல் AB, CD என்பன d என்னும் படிக இடைவெளியிலமைந்த அடுக்குகளைக் குறிக்கின்றன. ஒரே அலைநீளமுடைய எக்ஸ்-கதிர்களைக் கொண்ட கற்றை ஒற்றை நிற எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றை (monochromatic X-ray beam) எனப்படும். அத்தகைய கற்றை ஒன்று AB என்ற தளத்தின் மீது θ என்ற சாய் கோணத்தில் படுவதாகக் கொள்வோம்; படுகதிரின் திசைக்கும் படிக தளத்திற்கும் இடையில் உள்ள கோணத்தைத்தான் சாய் கோணம் (glancing angle) என்கிறோம். இக்கற்றை படத்தில் காட்டியுள்ளபடி, இத்தளத்திற்கு இணையாய் அமைந்த CD என்ற பகுதி, எதிரொளிப்புக்கு உள்ளாகிறது. இவ்வாறு

எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் ஒத்த அதிர்வு நிலை (same phase) உடையனவாக இருப்பின், ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்வதால், செறிவு மிகுந்த ஓர் எதிரொளிப்புக் கற்றையாக வெளிவருகின்றன. படிக இடைவெளியாகிய *d* என்பது மிகமிகக் குறைவான தூரமாகையால், எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கி அமைந்து, ஒரு புள்ளி பிம்பத்தைத் தருகின்றன. இது போலவே, இன்னொரு பிளவுறு தளத்திற்கு இணையாய் அமைந்த அடுக்குகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒத்த அதிர்வு நிலை காரணமாய் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்ள நேரும் கதிர்கள் மற்றொரு புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு வெவ்வேறு தள அடுக்குகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு வெவ்வேறு திசைகளில் செல்லும் செறிவு மிக்க கற்றைகள், ஒழுங்காய் அமைந்த வெவ்வேறு புள்ளிகளைத் தருகின்றன. இவ்வாறு உண்டானதே லாவே புள்ளிகள் (Laue Spots) என்ற படமாகும்.

எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றைகள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்வதற்கான சூழ்நிலைகளை ஆராய்வோம். அடுத்தடுத்துள்ள இரு அடுக்குகளில் எதிரொளிப்புறும் கதிர்களுக்கு இடையே உள்ள பாதை வேறுபாட்டைக் கணக்கிட்டு, அப்பாதை வேறுபாடு, பயன்படுத்தப்படும் எக்ஸ்-கதிரின் அலை நீளத்தின் முழு எண் மடங்குக்குச் சமமாக இருப்பின், அக் கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்ளும் எனக் கூறுவதே நமது நோக்கமாகும்.

YMY' என்ற கதிரின் பாதைக்கும், *ZNZ'* என்ற கதிரின் பாதைக்கும் உள்ள வேறுபாட்டின் அளவு $ON + NP$ ஆகும்.



படம் 183 (a)

$$\text{பாதை வேறுபாடு} = ON + NP$$
$$= d \sin\theta + d \sin\theta$$
$$= 2d \sin\theta \text{ ஆகும்.}$$

இப்பாதை வேறுபாடு பயன்படுத்தப்பட்ட எக்ஸ்-கதிரின் அலை நீளமாக λ-ன் முழு எண் மடங்குகளாக இருக்கவேண்டும். n என்பது ஒரு முழு எண் என்றால்,

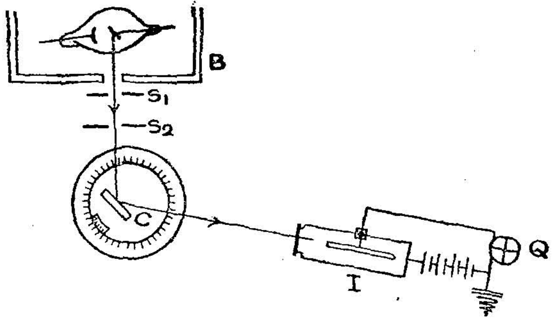
$2d \sin \theta = n\lambda$ ஆக இருக்கவேண்டும். இச் சமன்பாட்டிற்குத்தான் பிராக் விதி அல்லது பிராக் சமன்பாடு என்று பெயர்.

இச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளத்தை அறிவதற்கும், பிராக் விதியை மெய்ப்பிப்பதற்காகவும் பிராக் தம் மகனுடன் சேர்ந்து ஒரு நிறமாலைமானியைத் தயாரித்தார். இது பிராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி (Bragg's X-Ray Spectrometer) எனப்படும்.

பிராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி

படம் 183 bல் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானியின் முக்கிய பகுதிகள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய் தடித்த சுவர்களைக் கொண்ட காரீயப்பெட்டி B ஒன்றுக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. பெட்டியிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிர்கள் பாதையிலமைந்த காரீயத் தகடுகளிலுள்ள மெல்லிய பிளவு (slits) களால் (S_1S_2) வரிப்படுத்தப்பட்டு மெல்லிய கற்றையாக வெளி வருகின்றன.

செங்குத்தான அச்சு ஒன்றில் சுழலக் கூடிய வட்டமான மேசையின் மீது படிகம் (C) வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. படிகத்தின் மீது விழுகின்ற எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றை எதிரொளிக்கப்பட்டு,



படம் 183 (b)

எதிரே உள்ள அயனிக்கலத்தின் (I) சாளரத்தின் வழியே உள்ளே புகுகிறது. அயனிக்கலத்தில் சல்ஃபர் டை ஆக்சைடு அல்லது மீதைல் புரோமைடு போன்ற ஒரு வாயு அடைக்கப் பட்டிருக்கும். அயனிக் கலத்தை அடைந்த எக்ஸ்-கதிர்கள் தங்கள் செறிவுக்கு ஏற்ப வாயுவை அயனியாக்கம் செய்கின்றன. இதனால் உண்டாகும் அயனியாக்க மின்னோட்டத்தின் அளவினை அயனிக்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கால்வட்டக்

கால்வனுமீட்டர் (Quadrant electrometer) குறிக்கிறது (Q). அயனியாக்க மின்னோட்டத்தின் அளவு அயனிக்கலத்தை அடையும் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும்.

இவ் அமைப்பில் உள்ள அயனிக்கலம் ஒளியியல் நிறமாலை மானியில் உள்ள தொலைநோக்கியைப் போன்றதாகும்; இது படிக மேசையின் அச்சில் சுழலக்கூடிய ஒரு புயத்தின் மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கும். (படத்தில் புயம் காட்டப்படவில்லை.) மேசையின் திருப்பத்தையும், அயனிக்கலத்தின் திருப்பத்தையும் அளவிட்டு அறிவதற்கேற்ற அளவுகோல்களும், அவற்றிற்கான வர்னியர்களும் தனித்தனியே உள்ளன. இப்போது செய்யப்படும் பிராக் நிறமாலைமானியில் மேசை θ என்ற கோணத்தில் திருப்பப்பட்டால், அயனிக்கலத்தைத் தாங்கும் புயம் 2θ என்ற கோணத்தில் தானே திரும்பும்படிப் பற்சக்கர அமைப்பு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஏனெனில், படுகற்றை படிக முகத்தில் θ என்ற சாய்கோணத்தில் விழும்போது எதிரொளிப்புக்கற்றை, படுகற்றையின் திசையிலிருந்து 2θ என்ற கோணத்தில் திரும்பியிருக்குமல்லவா ? எனவே, அதை ஏற்க வேண்டிய அயனிக்கலம் அத்திசையில் அமையுமாறு செய்யப்பட்டிருக்கிறது.

குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய (λ) எக்ஸ்-கதிர்களையும், d என்ற படிக இடைவெளியுடைய தள அடுக்குகளையும் பயன்படுத்தி ஆய்வு நடத்துவதாகக் கொள்வோம்;

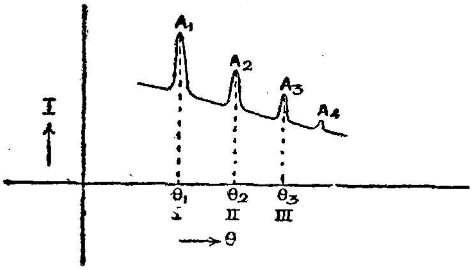
பிராக் விதி சரி என்றால் $n = 1, 2, 3$......... என்ற மதிப்புகளைப் பெறும்போது அவற்றிற்கு உரிய θ_1, θ_2, θ_3 என்ற கோணங்களில் செறிவுமிக்க எதிரொளிப்புக்கதிர்கள் உண்டாக வேண்டும். அதாவது, அத்தகைய சமயங்களில் மட்டும் அயனியாக்க மின்னோட்டம் உச்சநிலை அடையவேண்டும்.

$$2d \sin \theta_1 = 1\lambda \quad \text{அதாவது } n = 1$$
$$2d \sin \theta_2 = 2\lambda \quad ,, \quad n = 2$$
$$2d \sin \theta_3 = 3\lambda \quad ,, \quad n = 3$$

அல்லது $\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 = 1 : 2 : 3$ ஆகும்.

படுகதிர் படுமுகத்தின் மீது $\theta = 0$ என்ற கோணத்தில் விழுகின்ற இடத்திலிருந்து துவங்கிப் படிக மேசையைச் சிறிது சிறிதாகச் சுழற்றிக் கொண்டே வரவேண்டும். அதே நேரத்தில் அயனிக்கல புயம், படிக மேசையைப்போல இருமடங்கு வேகத்

தில் சுழன்று எதிரொளிப்புக் கற்றையை ஏற்கும். அயனிக் கலத்தை அடையும் எதிரொளிப்புக்கற்றை தன் செறிவுக்கு ஏற்ற அயனியாக்க மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு படிக மேசையைச் சுழற்றிக்கொண்டே வரும்போது முதன் முதலாக, குறிப்பிட்ட ஒரு சாய்கோணத்திற்கு (θ_1) அயனியாக்க மின்னோட்டம் பெரும எல்லையை அடையும். இதை முதல் வரிசை நிறமாலை (I Order Spectrum) என்பர். தொடர்ந்து படிகமேசை சுழற்றப்பட்ட, சாய்கோணம் θ_2 என்னும் மதிப்பை அடையும் போது, மீண்டும் அயனியாக்க மின்னோட்டம் பெரும நிலை அடையும். இது இரண்டாவது வரிசை நிறமாலை எனப்படும். இவ்வாறே பல வரிசை நிறமாலைகளையும், அவற்றிற்கு உரிய சாய்கோண மதிப்புகளையும் பெறலாம். சாய்கோணத்திற்கும் அயனியாக்க மின்னோட்டத்திற்குமாக வரையப்படும் வரைப்படம், படம் 183 c-ல் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும். படத்திலுள்ள A_1, A_2, A_3 என்ற மூகட்டு உச்சிகள் (peaks) அயனியாக்க மின்னோட்டத்தின்



படம் 183 (c)

பெரும மதிப்புகளையும், அவற்றிற்குரிய சாய்கோணங்கள் θ_1, θ_2 θ_3 ஆகியவற்றையும் குறிக்கின்றன. இக்கோணங்களின் சைன் மதிப்புகளைக் கணக்கிட

$$\text{Sin } \theta_1 : \text{Sin } \theta_2 : \text{Sin } \theta_3 = 1 : 2 : 3$$

என்ற விடை கிடைக்கும். நிறமாலை வரிசையின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அதிகரிக்க நிறமாலை வரியின் செறிவு குறைந்து கொண்டே செல்வதையும் படத்தில் காணலாம். படிக இடைவெளியின் (d) மதிப்பு தெரிந்தால்,

$$2d \text{ Sin } \theta = n\lambda$$

என்ற வாய்ப்பாட்டைப் பயன்படுத்தி λன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக Nacl படிகத்தின் படிக இடைவெளி $2{\cdot}81 \times 10^{-8}$ செ. மீ. ஆகும். அப்படிகத்தைப் பயன்படுத்தி ஆய்வுகள் நடத்தியபோது, A_1, A_2, A_3 என்ற முகட்டு உச்சிகளுக்கு உரிய கோணங்களாகிய $\theta_1 = 11°48'$, $\theta_2 = 23°30'$, $\theta_3 = 36°$ ஆக இருப்பது அறியப்பட்டது.

எனவே, பிராக் விதியின்படி

$$\text{Sin } 11°48' = \text{Sin } 23°30' : \text{Sin } 36° = 0{\cdot}204 : 0{\cdot}4 : 0{\cdot}63 \quad 1 : 2 : 3$$

ஆக இருப்பதை அறிகிறோம்.

அலைநீளம் கணக்கிடல்

முதல் வரிசையில்

$$\begin{aligned}\lambda &= 2d \text{ Sin } \theta_1 \\ &= 2 \times 2{\cdot}81 \times 10^{-8} \times \text{Sin } 11{\cdot}48' \\ &= 2 \times 2{\cdot}81 \times 10^{-8} \times 0{\cdot}204 \\ &= 1{\cdot}5 \times 10^{-8} \text{ செ. மீ.} \\ &= 1{\cdot}5 A°\end{aligned}$$

இம் முறையின் சில குறைகள்

1. படிக இடைவெளி படிகத்தின் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து மாறக் கூடியது. எனவே, இதற்குரிய திருத்தங்கள் தரப்படவேண்டும். அட்டவணையில் கொடுக்கப்படும் படிக இடை வெளிகள் 18° செ.கி–ல் கணக்கிடப்பட்டவையாகும்.

2. கதிர்க்கற்றை விலக்க முறுவது இல்லை எனக்கொண்டு பிராக் விதி செய்யப்பட்டது. உண்மையில் ஓரளவு விலகல் ஏற்படவே செய்கிறது. ஆகவே, அதற்குரிய திருத்தம் செய்யப் படவேண்டிய ஒன்றாகும்.

3. பிராக் நிறமாலைமானி குறைந்த பிரிதிறனுடையது. பிளவுகளின் அகலத்தைக் குறைப்பதன் மூலம் பிரிதிறனை அதிகரிக்கலாம். ஆனால், இம்மாறுபாட்டால் அயனிக்கலத்தில் நுழையும் எதிரொளிப்புக்கதிர்களின் அளவு குறைந்துபோய் விடுமாதலால், அயனியாக்க மின்னோட்டமும் குறைந்துபோய் விட, அதை அளப்பது சிரமமாகிவிடும்.

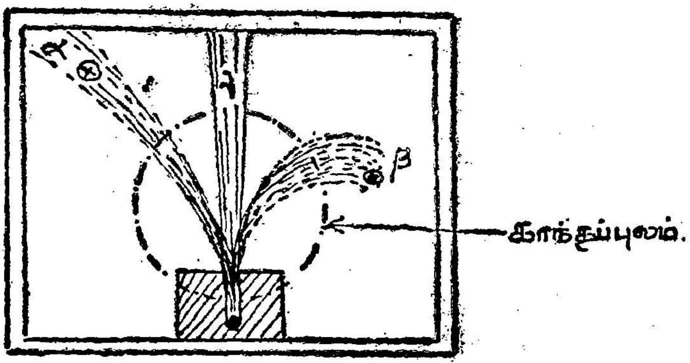
கதிரியக்கம்
(Radio Activity)

ஹென்றி பெக்கரல் (Henry Becquerel) என்ற பிரஞ்சு விஞ்ஞானி ஒளிரும் உப்புக்கள் (Fluorescent salts) பற்றிய ஆராய்ச்சியில் ஈடுபட்டிருந்தபோது தற்செயலாக இந் நிகழ்ச்சியினைக் கண்டுபிடித்தார். பொட்டாசியம் மற்றும் யுரேனியம் இவற்றின் இரட்டைச் சல்பேட்டைக்கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் நடத்திக் கொண்டிருந்தபோது மப்பும் மந்தாரமாக இருக்கவே அவ்வுப்பை ஒரு காகிதத்தில் பொட்டலமாகக் கட்டி தன் மேசையின் இழுப்பறையினுள் வைத்துவிட்டு வேறு வேலையில் ஈடுபட்டார். தற்செயலாக அதே இழுப்பறையில் அவர் உபயோகப்படுத்தாத சில ஒளிப்படத் தகடுகளையும் வைத்திருந்தார். சில நாட்களுக்குப் பின்பு, ஒளிப்படம் எடுக்க நினைத்து அவ்வொளிப்படத் தகடுகளை எடுத்துப் பயன்படுத்திய பெக்கரல், அதற்கு முன்பே அத் தகடுகள் ஏதோ ஒரு காரணத்தால் பாழ்பட்டுப் போயிருப்பதைக் கண்டார். அவ்வொளிப்படத் தகடுகள் கருப்புக் காகிதத்தில் நன்கு சுற்றப்பட்டு ஒளி புகாதவாறு வைக்கப்பட்டிருந்தன. அந்த இழுப்பறையில் அந்த உப்புப் பொட்டலத்தைத் தவிர வேறு ஒரு பொருளும் இல்லை. எனவே அந்த இரட்டை உப்பு ஒளிப்படத் தகட்டைப் பாதிக்கக்கூடிய ஏதோ ஒருவகைக் கதிர்களை வெளியிட்டிருக்கவேண்டும் என ஊகித்தார். பின்பு நன்கு கருப்புக் காகிதத்தில் சுற்றப்பட்ட புதிய ஒளிப்படத் தகடு ஒன்றை எடுத்து, அதன்மீது ஓர் இரும்புச் சாவியை வைத்து அதன்மீது பொட்டாசியம், யுரேனியம் இரட்டைச் சல்பேட் கொண்ட பொட்டலத்தை வைத்தார். சில மணி நேரங் கழித்து அவ்வொளிப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்தபோது அதில் சாவியின் பிம்பம் தோன்றக் கண்ட பெக்கரல் அவ்வுப்பு ஏதோ ஒரு புதுவகைக் கதிர்களை வீசுகிறது என்றுணர்ந்தார். தொடர்ந்து செய்த ஆராய்ச்சிகள் யுரேனியம் உள்ள எல்லா உப்புகளுமே

இத்தகைய கதிர்கள் வீசுவதைக் காட்டின. இந் நிகழ்ச்சி கதிரியக்கம் (Radio activity) எனப்பட்டது.

பிட்ச் பிளண்டி (Pitch blende) என்ற யுரேனியத்தைக் கொண்ட இயற்கைக் கனிப்பொருள் அதிக கதிரியக்க ஆற்றல் பெற்றது. இரசாயன முறையில் இக் கனிப் பொருளை ஆராய்ந்த பியரி (Pierre) மற்றும் மேடம் க்யூரி (Madam Curire) ஆகியோர் அதில் ரேடியம் மற்றும் பொலோனியம் ஆகிய தனிமங்கள் இருப்பதைக் கண்டனர். பொலோனியம், யுரேனியத்தைப் போல ஆயிரம் மடங்கு கதிர் வீச்சு ஆற்றலும் ரேடியம் நூறு ஆயிரம் மடங்கு ஆற்றலும் உடையன.

கதிரியக்கப் பொருளை எவ்வித பௌதிக அல்லது இரசாயன மாற்றங்களுக்கு உட்படுத்திய போது அதன் கதிரியக்க ஆற்றல் எவ்வித மாற்றமும் அடைவதில்லை. இவ்வுண்மை கதிரியக்க ஆற்றலின் மூலம்பற்றிய உண்மைக்கு வித்திட்டது. ஓர் அணுவின் பௌதிக, இரசாயனப் பண்புகள் அதன் கட்டமைப்பில் வெளி வீதியில் சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான் களைப்பொருத்தது என அறிவோம். இக் கதிரியக்க விளைவு பௌதிக இரசாயன மாற்றங்களால் பாதிக்கப்படாததால் இஃது அணுவின் உள்ளே இருக்கின்ற அணுக்கரு சம்பந்தப்பட்ட நிகழ்ச்சியாக இருக்கவேண்டும் என்றறிகிறோம்.



படம் 184

ஒரு கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து வெளிவருகின்ற கதிர் வீச்சுக்களின் இயல்பினைப் பின்வருமாறு அறியலாம். ஒரு பெரிய ஈயக்கட்டியின் மையத்தில் மெல்லிய ஆழமான துளை ஒன்று செய்து, அத் துளையின் அடியில் ரேடியம் போன்ற கதிரியக்கப்

பொருளின் சிறு துணுக்கு ஒன்றை வைக்கிறோம். ஈயக்கட்டியை முற்றிலும் காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட ஓர் அறையினுள் வைத்துப் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உட்புறமாக காந்தப்புலம் ஒன்றைச் செயற்படுத்துகிறோம்.

ரேடியத்திலிருந்து வெளிவரும் கதிர்வீச்சு மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிகிறது. ஒன்று வலப்பக்கமாக அதிகத் திருப்பமுறும் பகுதி. மற்றது இடப்பக்கமாகச் சிறிது திருப்பமுறும் பகுதி; மூன்றாவது திருப்பமுறாமல் நேராகச் செல்லும் பகுதி.

இடப்பக்கமாகத் திருப்பமுறும் பகுதியில் நேர்மின்னூட்டம் கொண்ட துகள்கள் இருக்கவேண்டும். இவை α துகள்கள் அல்லது α கதிர்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. வலப்பக்கமாகத் திருப்பமுறும் பகுதி எதிர் மின்னூட்டமுடைய துகள்களைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். அவை β துகள்கள் அல்லது β கதிர்கள் எனப்படுகின்றன. திருப்பமுறாமல் நேர் மேலே செல்லும் பகுதி மின்னூட்டமற்றது. அஃது ஒளிக்கதிர்களை ஒத்தது. அது γ கதிர்கள் எனப்படுகின்றது. மேலே கூறிய மூவகைக் கதிர்களுள் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட கதிர்களை வீசும் நிகழ்ச்சி கதிரியக்கம் எனப்படும்.

α கதிர்கள் (α Rays)

α துகள் நான்கு நிறை அலகுகளும், இரு அலகு நேர்மின்னூட்டமும் கொண்டது. ஹீலியம் அணுக்கருவும், நான்கு நிறை அலகுகளும் இரு அலகு நேர் மின்னூட்டமும் கொண்டிருக்கிறது. எனவே α துகள் என்பது சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் நீக்கப்பட்ட ஹீலியம் அணுவே என்று கூறலாம். α துகள்களைத் தக்க ஒரு கலத்தில் சேமித்தால் ஹீலியம் வாயு கிடைக்கும். ஆல்ஃபா துகள்களை ஒரு மின்னிறக்கக் குழாயில் சேமித்து அதன் வழியே மின்னிறக்கம் நிகழச் செய்தால் அஃது ஒளியைச் சிந்துகிறது. அவ்வொளியின் நிறமாலை ஹீலியம் நிறமாலையுடன் முற்றிலும் ஒத்திருக்கிறது. எனவே α துகள் என்பது ஹீலியம் அணுக்கருவே என்ற முடிவுக்கு வருகிறோம். α துகள்கள் மிக அதிக திசை வேகம் உடையன. அவை அதிக அயனியாக்கத் திறன் (ionising power) உடையவை. இவை ஒளிப்படத் தகட்டைப் பாதிக்கின்றன.

β கதிர்கள் (β Rays)

இவை எதிர்மின்னூட்டமுடைய துகள்களை உடையவை. இத்துகளின் $\frac{e}{m}$ மதிப்பு இவைகள் விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்

ரான்களே என்ற உண்மையை வெளிப்படுத்தியது. இவை மிக மிக அதிக திசை வேகம் உடையவை. இவற்றில் ஒளியின் வேகத்திற்கு ஓரளவு சமமான வேகமுடைய துகள்களும் உண்டு. இத்தகைய வேகத்துடன் செல்வதால் ஐன்ஸ்டீன் கூறிய சார்பு நிலைக் கொள்கைக்கு ஏற்ப இவற்றின் நிறையில் கூடுதல் ஏற்படுவதுகூடக் கண்டறியப்பட்டது. β துகள்கள் குறைந்த அயனியாக்கத் திறன் உடையவை.

γ கதிர்கள் (γ Rays)

இவை X கதிர்களைப் போன்றே மிக அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்ட கதிர்கள் ஆகும். இவற்றின் அலை நீளம் X கதிர்களின் அலை நீளத்தைவிடக் குறைவு. இவை மின் புலம் அல்லது காந்தப் புலத்தில் திருப்ப முறுவது இல்லை. எனவே γ கதிர்கள் ஈயத்தகடுகளையும் ஊடுருவிச் செல்ல வல்லன. ஆனால் இவற்றின் அயனியாக்கத் திறன் β கதிர்களின் அயனியாக்கத்திறனைவிடக் குறைவு.

இடப்பெயர்ச்சி விதி (Displacement law)

ஓர் அணுவின் கருவில் நடைபெறும் மாற்றங்கள் காரணமாகக் கதிரியக்க நிகழ்ச்சி நடைபெறுகிறது; கதிரியக்க அணு ஒன்று ஒரு α துகளை வெளியிட்டால் அதன் அணு எண்ணில் (atomic number) இரண்டும் நிறை எண்ணில் (mass number) நான்கும் குறைந்துவிடும்; அவ்வணுவின் கருவில் ஏற்படும் இம் மாற்றத்தினால் அவ்வணு வேறு தனிமத்தின் அணுவாக மாறிவிடுகிறது. இப் புதிய அணு எண், முன்பிருந்த அணு எண்ணைவிட இரண்டு எண் குறைவாக இருக்கும். அஃதாவது தனிம அட்டவணையில் (Periodic table) அஃது இரண்டு இடம் பின்னோக்கிச் செல்லும். கதிரியக்க அணு ஒரு β துகளை வெளியிடும்போது அதன் நிறை எண்ணில் மாற்றம் ஏற்படுவது இல்லை. அணு ஓர் எதிர் மின்னூட்டத்தை இழக்கிறது. அதுவும் அணுவின் கருவிலிருந்தது ஆகையால் அங்கு ஒரு நேர்மின்னூட்டம் அதிகரித்து இருக்க வேண்டும். (அணுக்கருவில் உள்ள நியூட்ரான் என்ற துகளை ஒரு புரோட்டானும் எலெக்ட்ரானும் இரண்டறக் கலந்த அமைப்பாகக் கொள்ளலாம்.) எனவே β துகளை வெளியிட்ட அணுவின் அணு எண்ணில் ஒன்று அதிகமாகிறது. எனவே அது தனிம அட்டவணையில் ஓரிடம் மேலே செல்கிறது. இவ்வாறு கதிர்வீச்சின் காரணமாக ஏற்படும் அணு மாற்றம் தனிம அட்டவணையில் அணுக்களை இடப்பெயர்ச்சியுறச் செய்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக யுரேனியம் அணு ஒரு α துகளை வீசிவிட்டு

ஐயோனியம் என்ற தனிமமாக மாறுகிறது. இதனால் தனிம அட்டவணையில் இரண்டு இடங்கள் பின்னோக்கிச் செல்கிறது. மீண்டும் α துகளை வீசி ரேடியமாகிறது. மறுபடியும் α துகளை வெளியிட்டு ரேடானாகிறது இவ்வாறே ஒரு சமயத்தில் α அல்லது β துகளை வீசி, வேறு தனிமமாக மாறிக்கொண்டே வந்து இறுதியில் நிலையான ஈயம் ஆகிவிடுகிறது. யுரேனியத்தில் தொடங்கிப் பல தனிமங்களாக மாறிக்கொண்டே வந்து இறுதியில் நிலையான ஈயமாக மாறுகின்ற இத் தனிம வரிசை யுரேனியத் தொடர்கள் (Uranium series) எனப்படும். இவ்வாறே தோரியம் தொடர், ஆக்டினியம் தொடர் என்ற வேறு இரு கதிரியக்கத் தொடர்களும் உள்ளன.

அணுச் சிதைவு விதி (Law of disintegration)

ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் தொடர்ந்து சிதைவுற்றுக்கொண்டே இருக்கிறது என்று கண்டோம். ஒரு தனிமம் சிதைவுறும் வேக விகிதம் அத் தருணத்தில் அத் தனிமத்தில் எத்தனை கதிரியக்க அணுக்கள் இருக்கின்றனவோ அதற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். தொடக்கத்தில் ஒரு கட்டியில் உள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை N_0-என்றும் t-என்னும் கால அளவிற்குப்பின் அதில் உள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை N-என்றும் கொள்வோம். மேற்கூறிய விதியின்படி,

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

இங்கு λ என்பது சிதைவு மாறிலி (decay constant)

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$\log N = -\lambda i + C$. C-என்பது குழுநி ஆக்க மாறிலி (Integration Constant) $t = o$ ஆக இருக்கையில் $N = N_0$ ஆகும்.

எனவே

$$\log N_0 = O + C \text{ அல்லது } C = \log N_0$$

எனவே $\log N = -\lambda t + \log N_0$

$$\log N - \log N_0 = -\lambda t$$

$$\log \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$ ஆகும்.

இச் சமன்பாட்டின்படி $N = 0$ ஆகக் கணக்கிலடங்காத காலமாகும்; எனவே ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்திலிருந்து மற்றொரு கதிரியக்கத் தனிமத்தை வேறுபடுத்தி அறியப் பின்வரும் முறை கையாளப்படுகிறது. இதற்கு அரை வாழ்வு காலம் (Half life period) என்ற சொல் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எடுத்துக்கொண்ட ஒரு கதிரியக்கத் தனிமக் கட்டியிலுள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை, தொடக்கத்தில் அதிலிருந்த கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கையில் பாதி ஆவதற்கு ஆகும் காலம் அத் தனிமத்தின் அரை வாழ்வுக் காலம் எனப்படும். மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$ ஆகும் போது t-ன் மதிப்பு என்னவோ அஃது அத் தனிமத்தின் அரை வாழ்வு காலம் எனப்படும்;

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{e^{\lambda t}} = \frac{1}{2} \quad \therefore e^{\lambda t} = 2$$

$$\lambda t = \log_e 2$$

$$t = \frac{\log_e 2}{\lambda}$$

$$= \frac{2{\cdot}303 \times \log_{10} 2}{\lambda}$$ ஆகும்.

யுரேனியத்தின் அரைவாழ்வுக் காலம் 4500 மில்லியன் ஆண்டுகள் என்றும், தோரியத்தின் அரை வாழ்வு காலம் 14,000 மில்லியன் ஆண்டுகள் என்றும் கணக்கிட்டிருக்கிறார்கள். சில நாட்கள், சில மணிகள், சில விநாடிகள், விநாடியின் சிறு பகுதி இவற்றை அரை வாழ்வுக்காலமாகக் கொண்டுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களும் உண்டு.

செயற்கை அணு மாற்றம்
(Artificial Transmutation)

ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் α அல்லது β துகளை வெளியிட்டு இயற்கையில் நிகழும் இவ் விளைவினால் வேறொரு தனிமமாக மாறுவதைக் கண்ட மனிதன், செயற்கை முறைகள் மூலம் ஒரு தனிமத்தை மற்றொரு தனிமமாக மாற்றும் முயற்சியில் ஈடுபட்டு, வெற்றியும் கண்டான். இது செயற்கை அணு மாற்றம் எனப்படும். ருதர்ஃபோர்ட் என்ற மேதை அதிக ஆற்றல் கொண்ட α துகள் களைக் கொண்டு நைட்ரஜன் அணுக்கருவை உடைத்து ஆக்சிஜன் அணுவைப் பெற்றார். அவர் செய்த விளைவினைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் விளக்கலாம்.

$$ {}^{2}He_{4} + {}^{7}N_{14} \longrightarrow {}^{8}O_{17} + {}^{1}H_{1} $$

α துகள்	நைட்ரஜன்	அரிய ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்	புரோட்டான்

தனிமக் குறியீடுகளுக்கு இடப்பக்கம் மேலே எழுதப்படும் எண்கள் அத்தனிமத்தின் அணு எண்ணையும், வலப்பக்கம் கீழே எழுதப் படும் எண்கள் நிறை எண்ணையும் குறிக்கும்.

செயற்கைக் கதிரியக்கம்
(Artificial radioactivity)

இது வரை ஆராய்ந்தறிந்த உண்மைகளில் மனித சமுதாயத் திற்கு அதிக நன்மை தருவது செயற்கைக் கதிரியக்கம் ஆகும். இது மேடம் க்யூரியின் மகள் இரேன் க்யூரி மற்றும் அவ்வம் மையாரின் கணவர் F. ஜோலியட் ஆகியோரால் கண்டுபிடிக் கப்பட்டது.

அணுக்கரு உடைக்கப்பட்டவுடன் அஃது ஒரு நிலையற்ற அணுக் கருவாகிறது; அது கதிரியக்கத் தன்மை உடையதாகவும் இருக்கிறது. இவ்வாறு கதிரியக்கமற்ற ஓர் அணுக் கருவினை செயற்கை முறைகள் மூலம் கதிரியக்கமுள்ள அணுவாக மாற்று கின்ற புதுமை செயற்கைக் கதிரியக்கம் எனப்படும். செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள் குறைந்த விலையிலும், தேவையான அரை வாழ்வுக் காலம் உடையனவாகவும் கிடைக்கின்றன.

செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள், பாசிட்ரான்கள் மற்றும் எலெக்ட்ரான்களை மட்டுமே வெளியிடுகின்றன. இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களைப் போன்று அவை ∝ துகள்களை வெளியிடுவது இல்லை.

நடைமுறைப் பயன்கள்

(i) மருத்துவத்தில்

பாஸ்வரம் 32 என்ற கதிரியக்க ஐசோடோப் வயிற்றிலும் உணவுக் குழலிலும் உண்டாகும் புற்று நோயைக் கண்டறிய உதவுகிறது. விழுங்கக்கூடிய அளவு சிறிய கைகர் எண்ணி (Geiger Counter) யுடன் கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தை நோயாளி விழுங்கவேண்டும். புற்றுநோய் இருந்தால் கைகர் எண்ணி அதிகத் துடிப்புகளைக் காட்டும்.

கதிரியக்க மாங்கனீஸ் பிராணிகளின் கல்லீரலில் உண்டாகும் புற்று நோயைக் குணப்படுத்தக்கூடியது. இஃது ஓர் அரிய கண்டுபிடிப்பாகும். ஏனெனில் கல்லீரலில் உள்ள புற்றுநோயை அறுவைச் சிகிச்சை மூலம் குணமாக்க இயலாது.

கதிரியக்க அயோடியன் தைராய்ட் நோய்களைக் குணமாக்குகிறது. சிலருக்கு நாடித்துடிப்பு திடீரென அதிகமாகித் தாங்க முடியாத வலி ஏற்படுவதுடன் இருதயத்தையும் சேதப்படுத்தும். அத்தகைய நோய் உள்ளவர்களுக்குக் கதிரியக்க அயோடின் பானமாக உள்ளே தரப்படுகிறது. இதனால் அந்நோய் குணமாகிறது.

விவசாயத்தில்

செடி கொடிகளுக்குக் கதிர்வீச்சு ஊட்டி, அவற்றிற்குப் பூஞ்சாணம் போன்ற வியாதிகளைத் தாங்கி வளரும் வீரியம் தரப்படுகிறது.

பயிர்களையும், கால்நடைகளையும் அழிக்கின்ற பல பூச்சிகளைக் கோபால்ட் 60 என்ற கதிர்வீச்சின் மூலம் மலடாக்கி அதன் மூலம் அப் பூச்சியினமே இல்லாமல் செய்யலாம்.

தரையின் அடியில் ஓடுகின்ற நதிகளின் போக்கினைக் கதிரியக் ஐசோடோப்புகளின் உதவியால் கண்டுபிடித்துத் தரை நீரை வெளியே எடுத்துப் பசுமைப்புரட்சி உண்டாக்கலாம்.

உணவுப் பொருள்களைக் கெடுக்கும் பாக்டீரியாக்களிடமிருந்து காப்பாற்றி நீண்ட காலத்திற்குச் சேமித்துவைக்கக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் பயன்படுகின்றன. அதுபோன்றே மாமிசங்களையும் கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்திப் பல நாட்களுக்குக் கெடாமல் பாதுகாக்கலாம்.

தானிய வகைகளுக்குச் சிறிய அளவு கதிர்வீச்சு தந்து நீண்ட காலத்திற்குச் சேமித்து வைக்கலாம்.

தொல்பொருள் துறையில்

கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டு பூமியின் வயதினையும், ஆதிகால மனிதனின் அமைப்பு, இன்று அற்றுப்போன பழைய பிராணிகளின் இனம் பற்றிய விவரங்கள் முதலியன மிகத் துல்லியமாக அறியப்படுகின்றன.

அணுக்கரு ஆற்றல்
(Nuclear Energy)

உலகத்தின் பெட்ரோல் ஊற்றுகளும், நிலக்கரிச் சுரங்கங்களும் வற்றிப் போய் எரிப் பொருள் பஞ்சம் உலக நாடுகளை திணர அடித்துக் கொண்டிருப்பதைப் பார்க்கிறோம். விஞ்ஞானிகளின் கவனம் இப்போது வற்றாது கிடைக்கக் கூடிய அணுக்கரு ஆற்றலின் பக்கம் திரும்பியிருக்கிறது.

அணுக்கரு ஆற்றல் என்பது என்ன? ஒரு தனிமத்தின் அணுக் கருவை பிளக்கும்போது அல்லது சில அணுக்கருக்களை உருக்கி ஒன்று சேர்க்கும்போது மிக அதிகமான ஆற்றல் வெளிவருகிறது. இந்த ஆற்றல் அணுக்கரு ஆற்றல் என்றழைக்கப்படுகிறது. நாம் நிலக்கரி, பெட்ரோல் போன்ற பொருட்களை நம்முடைய இரயில் என்ஜின், மோட்டார் என்ஜின் ஆகியவற்றில் எரித்து வெப்பம் உண்டாக்கி அவ்வெப்பத்தின் உதவியால் என்ஜின்களை இயக்கு கிறோம். இந்நிகழ்ச்சியில் மேற்கூறிய பொருட்களின் அணுக்கரு பாதிக்கப்படுவதில்லை. எரிக்கும் நிகழ்ச்சியில் பங்கு கொள்ளும் பொருட்களின் கூடுதல் நிறை, எரித்தலால் உண்டான பொருட் களின் கூடுதல் நிறைக்குச் சமமாக இருக்கும். அதாவது இந் நிகழ்ச்சி பொருட்களின் நிறை மாரு விதி (conservation of mass)க்கு உட்பட்டு நிகழும்.

இவ்வாறே உலகின் ஆற்றல் மாரு விதி (conservation of energy) என்ற ஒன்று இருப்பதை அறிவோம். ஆற்றல் ஓர் உருவிலிருந்து இன்னொரு உருவிற்கு லாபமோ நஷ்டமோ இன்றி மாற்றப்படும். இது வரை நாம் ஆற்றல் வேறு, பொருள் வேறு ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு இல்லை என எண்ணி வந்தோம். ஆனால் அண்மைக்காலத்தில் ஏற்பட்ட அறிவியல் புரட்சி இக் கருத்து தவறு என மெய்பித்து விட்டது.

ஆல்பார்ட் ஐன்ஸ்டைன் என்ற மேதை நிறைக்கும் ஆற்றலுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பினை $E = mc^2$ என்ற மிகச் சிறிய சமன்பாட்டின் மூலம் உலகின் ஆற்றல் பஞ்சத்தை நீக்கும் திறவு கோலைத் தந்தார். m நிறையுடைய பொருளை அணுக்கரு சிதைவு மூலம் ஆற்றலாக மாற்றினால் mc^2 அளவுள்ள ஆற்றல் (E) கிடைக்கும். இங்கு c என்பது ஒளியின் திசைவேகமாகும். எடுத்துக்காட்டாக நாம் ஒரு கிராம் பொருளை (அது எந்தப் பொருளாயினும் சரி) ஆற்றலாக மாற்றுவதாகக் கொள்வோம்.

$$E = mc^2$$

$$= 1 \times (3 \times 10^{10})^2 \qquad \therefore \quad c = 3 \times 10^{10} \text{ செ.மீ./வி.}$$

$$= 9 \times 10^{20} \text{ எர்க்குகள்}$$

$$= \frac{9 \times 10^{20}}{10^7} \text{ ஜூல்கள்}$$

$$= \frac{9 \times 10^{13}}{4 \cdot 2} \text{ கலோரிகள்} \qquad \because \quad 4 \cdot 2 \text{ ஜூல்} = 1 \text{ கலோரி}$$

$$= 2 \cdot 14 \times 10^{13} \text{ கலோரிகள்}$$

ஒரு கிராம் பொருளை எரித்தால் ஒரு சில கலோரி வெப்பமே நமக்குக் கிடைக்குமென அறிவோம். ஆனால் அதே ஒரு கிராம் அணுக்கரு சிதைவின் மூலம் ஆற்றலாக மாற்றப்படும்போது $2 \cdot 14 \times 10^{13}$ கலோரிகள் வெப்பம் உண்டாவதைப் பார்க்கிறோம். இந்த ஆற்றலின் அளவினை எளிதில் விளக்கலாம்; ஒரு கிராம் நிறையை அணு ஆற்றலாக மாற்றினால் ஒரு பெரிய போர்க் கப்பலை உலகை ஒரு முறைச் சுற்றி வரச் செய்யலாம் அல்லது ஒரு 100 வாட்ஸ் மின் விளக்கினை 30,000 ஆண்டுகள் தொடர்ந்து எரியச் செய்யலாம் என்றால் அணுக்கரு ஆற்றலின் அளவினை நாம் ஊகித்து அறிய முடியும்.

ஹென்றி பெக்கரல் கதிரியக்கக் கதிர்களான α, β மற்றும் γ கதிர் வீச்சுக்களை கண்டறிந்து கூறியவுடனேயே விஞ்ஞானிகளின் கனவு விரியத் தொடங்கிவிட்டது. இரண்டாவது உலகப் போரின் போது ஜப்பான் நாட்டின் ஹிரோஷிமா, நாகசாகி என்ற பெரு நகரங்களில் விழுந்து மக்கள் கற்பனைக்கும் எட்டாத உயிர் இழப்பையும், நாசத்தையும் உண்டாக்கிய இரண்டு அணுகுண்டுகள் அக்கனவை நனவாக்கி விஞ்ஞானிகளையே கலக்கி விட்டன.

"மாதவி தன் கானற் பாணி கனகவிசயர் தம் முடித்தலை நெரித்தது" என்று சிலப்பதிகார வரிகள் ஒரு பெரிய மாற்றத்தைக் குறிப்பதுபோல என்ரிக்கோ ஃபெர்மி (Enrico Fermi) என்ற இத்தாலிய இயற்பியல் விஞ்ஞானி "யுரேனியத்தை ஒரு நியூட்டிரானைக் கொண்டு தாக்கினல்" என்று எண்ணிய எண்ணம் ஹிரோஷிமா, நாகசாகியின் நாசத்தில் முடிந்தது.

அணுவைப் பிளத்தல் (Atomic fission)

யுரேனியம் ஐசோடோப்புகளில் ஒன்று நிறை எண் 235ஐ கொண்டது. யுரேனியத்தின் அணு எண் 92 என அறிவோம். இந்த $^{92}U_{235}$ஐ ஒரு நியூட்ரானைக் கொண்டு பிளக்க அது இரு பகுதிகளாக பேரியம் மற்றும் கிரிப்டான் என இரு வேறு அணுக் கருக்களாகப் பிரிவதுடன் கணக்கற்ற ஆற்றலையும் வெளிவிடுகிறது

$$^{92}U_{235} + {}^{0}n_{1} \longrightarrow \left[{}^{92}U_{236}\right] \longrightarrow$$

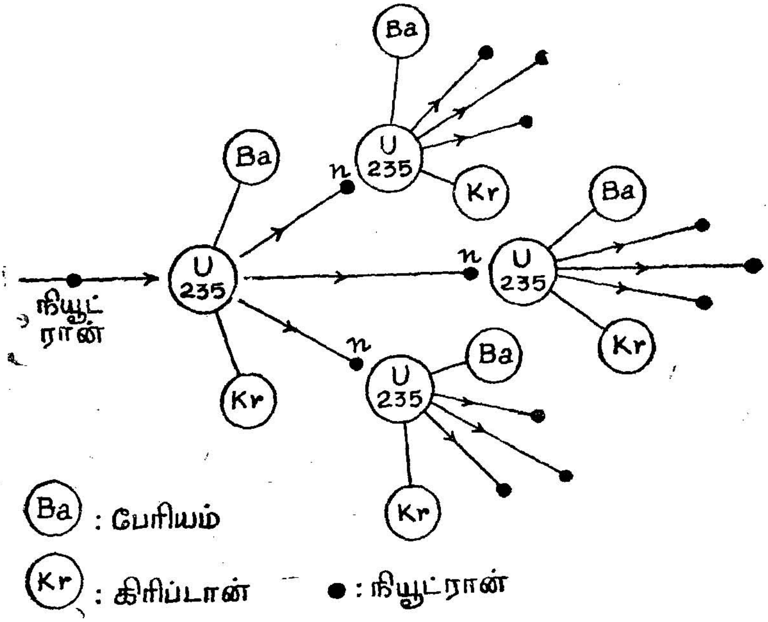
$$^{56}Ba_{144} + {}^{36}Kr_{89} + 3{}^{0}n_{1}$$

என்ற மாற்றம் நடைபெறுகிறது இம்மாற்றத்தில் 0·216 நிறைக் குறை (Mass defect) ஏற்படுகிறது. இந்த நிறைக்குறை ஆற்றலாக வெளிவருகிறது. ஒரு கிராம் அணு யுரேனியத்தில் $6{\cdot}02 \times 10^{23}$ யுரேனியம் அணுக்கள் இருக்கின்றன. இவை எல்லாம் உடைக்கப்பட்டு ஆற்றல் வெளியிடப்படும்போது $4{\cdot}6 \times 10^{12}$ கலோரி ஆற்றல் வெளிவருவதாகக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

தொடர் இயக்கம் (Chain reaction)

ஒரு யுரேனியம் அணு நியூட்ரான் ஒன்றினல் தாக்கப்பட்டு பிளக்கப்படும்போது மூன்று நியூட்ரான்கள் வெளிவருவதைக் கண்டோம். அந்த மூன்று நியூட்ரான்களும் வேறு மூன்று யுரேனியம் அணுக்களை பிளக்கும் வாய்ப்புக் கிடைக்குமானல் அவை ஒவ்வொன்றும் மூன்று நியூட்ரான்களை வெளிக் கொணரும் ஆக 9 நியூட்ரான்கள் கிடைக்கும். அந்த 9 நியூட்ரான்களும் வேறு 9 யுரேனியம் அணுக்களை பிளக்க நேரிட்டால் 27 நியூட்ரான்கள் வெளிவரும் இடையூறு இன்றி நியூட்ரான்கள் தொடர்ந்து யுரேனியம் அணுக்களை பிளந்து கொண்டே செல்லுமானல் மிகமிகக் குறுகிய காலத்திற்குள் கோடிக் கணக்கான யுரேனியம் அணுக்கள் பிளக்கப்பட்டு அளவில்லாத ஆற்றல் வெளிவரும் இந்நிகழ்ச்சி தொடரியக்கம் எனப்படும். இந்நிகழ்ச்சியை கீழே தந்துள்ள படம் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

இந்த தொடரியக்கம் நம் எண்ணங்களை விட விரைவாக நடைபெறுகிறது. சில மைக்ரோ வினாடிகளுக்குள் பல கோடிக்கணக்கான பிளவுகள் நடைபெற்றுவிடுகின்றன. இவ்வாறு வெளிவரும் ஆற்றல் காட்டு வெள்ளம் போல நாசத்தை மட்டுமே விளைவிக்க இயலும். இந்த வேலையைத்தான் அணுகுண்டுகள் செய்கின்றன.



படம் 185

தொடரியக்கம் பற்றி கூறும்போது வெளிவரும் நியூட்ரான்கள் வேறு அணுக்களை பிளக்கும் வாய்ப்புப் பெற்றால் என்று கூறியதைக் கவனிக்கவும். அவ்வாறு வாய்ப்பு இல்லையென்றால் தொடரியக்கம் நடைபெறாது. U_{235}ன் அளவு ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனைவிடக் குறைவாக இருக்குமானால் முதல் பிளவுக்குப் பிறகு வெளிவரும் நியூட்ரான்கள் யுரேனியக் கட்டியை விட்டு தப்பி வெளிவந்துவிடுகின்றன. எனவே தொடரியக்கம் நின்றுவிடுகிறது பிளவுறும் பொருளில் தொடரியக்கம் நடைபெறுவதற்குத் தேவையான, அப்பொருளின் சிறுமப் பருமன் (minimum size) மாறுதானப் பருமன் (critical size) எனப்படுகிறது. மேலும் வெளிவரும் நியூட்ரான்கள் மிக அதிக வேகமுடையதாக இருப்பின் அவை பிளவு நிகழ்த்துவதற்கு ஏற்றதாக இருப்பது இல்லை.

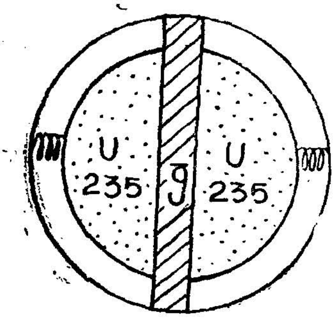
அவற்றின் வேகத்தைக் குறைத்து பிளவுக்குத் தகுந்த வேகமுடைய நியூட்ரான்களை உண்டாக்க வேண்டும். அவ்வாறு நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்த பயன்படுத்தும் பொருட்களுக்கு மட்டுப்படுத்திகள் (moderators) என்று பெயர். கிராஃபைட் மற்றும் பாரஃபின் போன்ற பொருட்கள் மட்டுப்படுத்திகளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

அணுக்கரு கட்டுப்படுத்தப்படாமல் வெளிவரும்போது அழிவினையும், கட்டுக்கு அடங்கி வெளிவரும்போது ஆக்கத்தினையும் உண்டாக்குகிறது. எனவே அணுக்கரு ஆற்றலை ஆக்கத்திற்கோ அல்லது அழிவிற்கோ பயன்படுத்தும் செயல் மனிதனத்தின் நாகரிகத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது.

அணுகுண்டு (Atom bomb)

ஹிரோஷிமா, நாகசாகி நகரங்களில் வெடிக்கப்பட்ட அணு குண்டுகள் 60,000 மனித உயிர்களையும், 200,000 வீடுகளையும் பலி கொண்டதுடன் 100,000 மனிதர்களை நடை பிணமாக்கியது. அது வாழ்ந்தவர்களை மட்டும் அழிக்கவில்லை வாழப் போகின்ற வயிற்றில் வளர்ந்த சிசுக்களைக்கூட வாழ்வற்றவர்களாகச் செய்தது. எங்கும் அதன் கோரதாண்டவம் தலைவிரித்தாடியது; காற்று, நீர், நிலம் எல்லாவற்றையும் விஷ சுரங்கங்களாக்கியது என்றால் அதன் அழிவின் எல்லையை ஓரளவு உணரலாம்.

அணுகுண்டினுள் அதன் மாறுதானப் பருமனுக்குச் சற்றுக் குறைவான அளவுடைய இரு யுரேனியம் கட்டிகள் இருக்கின்றன. அவை இரண்டையும் ஒரு காட்மியம் (Cadmium) சுவர் பிரிக்கிறது.



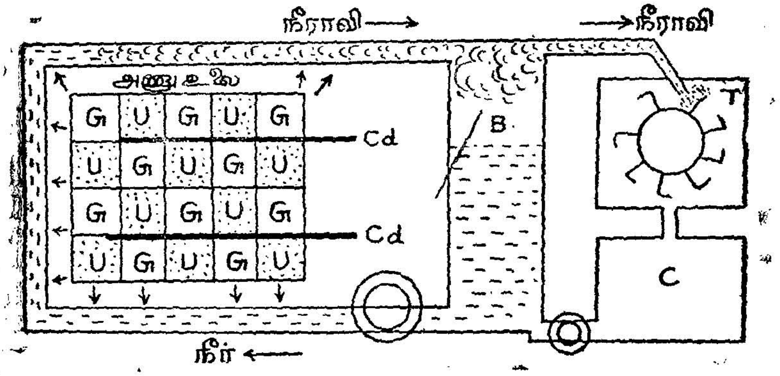
படம் 186

காட்மியம் நியூட்ரான்களை உட்கவர்ந்து கொள்ளக் கூடியது. இரு யுரேனியம் கட்டிகளின் வெளிப் பக்கத்திலும் வலுவான வில்கள் (springs) அவற்றை அழுத்திக் கொண்டிருக்கின்றன. ஏதாவது ஒரு முறையில் இரு கட்டிகளுக்கும் இடையே உள்ள காட்மியம் சுவரினை நீக்கி விட்டால் கட்டிகள் ஒன்றோடொன்று சேர, மாறுதான அளவைவிட பெரிய யுரேனியக் கட்டி உருவாகிவிடுகிறது. எனவே தானாகவே தொடரியக்கம் துவங்கி அளவற்ற ஆற்றல் வெளிவந்து

அழிவை உண்டாக்குகின்றது. காட்மியம் சுவரை நீக்கும் செயலுக்குத்தான் அணுகுண்டை வெடிப்பது என்று பெயர். அப்போது உண்டாகும் வெப்பம் 10,000,000°C என்றும் அப்போது உண்டாகும் காற்றழுத்தம் 4000 அடிக்கும் அப்பால் உள்ள கான்கிரீட் கட்டிடங்களின் சுவர்களை இடித்து நொறுக்கக்கூடியது என்றும் கணக்கிட்டுள்ளனர்.

அணு உலை (Atomic reactor)

உலை என்ற சொல்லே ஆக்கத்தைக் குறிக்கின்ற ஒன்றாகும்; கொல்லன் உலை, சோற்று உலை என்பது நாம் அறிந்த சொற்களே ஆகும். அணு உலையில் ஒரு பெரிய கிராஃபைட் கட்டி இருக்கும் அதில் இணையான பல துளைகள் செய்து அத்துளைகளில் யுரேனியம் தண்டுகளைச் செருகியிருப்பார்கள். எனவே அக்கட்டியினுள் யுரேனியமும் கிராஃபைட்டும் ஒன்று விட்டு ஒன்றாக மாறி மாறி படத்தில் காட்டியவாறு அமைந்திருக்கும். இந்த அமைப்புக்கு இடையே உள்ளே தள்ளவோ அல்லது வெளியே இழுக்கவோ கூடிய நிலையில் சில காட்மியம் தண்டுகளும் செருகப்பட்டிருக்கும்.



G : கிராஃபைட் U : யுரேனியம்
cd : காட்மியம் தண்டு B : கொதிகலன்
T : டர்பைன் அறை C : குளிர்விக்கும் அறை

படம் 187

இங்கு கிராஃபைட் நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைக்கும் மட்டுப்படுத்தியாக பயன்படுகிறது. காட்மியம் தண்டுகள் வேண்டாதபோது அணு உலையை நிறுத்துவதற்கும் வேண்டும் போது அணு உலையை ஏற்றுவதற்கும் ஏற்ற சாவிபோல் பயன்படு

கிறது: காட்மியம் தண்டுகளை வெளியே இழுத்துவிட்டால் அவை களால் உட்கவரப்பட்ட நியூட்ரான்கள், உட்கவர்வார் இல்லாத தால் யுரேனியம் அணுக்களின் மீது மோதி அவற்றைப் பிளந்து ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவைப் பொறுத்து காட்மியம் தண்டுகள் வெளியே இழுக்கப்படுகின்றன. காட்மியம் தண்டுகளை முற்றிலுமாக உள்ளே செருகிவிட்டால் அவை எல்லா நியூட்ரான்களையும் உட்கவர்ந்து அணுப் பிளவை நிறுத்திவிடுகின்றன. சிறிது வெளியே இழுத்தால் ஒரு சில நியூட்ரான்களை மட்டுமே அணுப் பிளக்கும் செயலுக்குத் தருகின்றன. அணு உலை இயற்கையில் கிடைக்கும் யுரேனியத்தைக் கொண்டு உருவாக்கப்பட்டிருக்கும். இதில் யுரேனியம் 238 அதிகமாகவும் யுரேனியம் 235 மிகக் குறைந்த அளவிலும் இருக்கும். நியூட்ரான்கள் யுரேனியம் 235 மீது மோதும் போதுதான் இதில் அணுப் பிளவு செயல் நிகழ்ந்து ஆற்றல் வெளிவருகிறது. எனவே ஆற்றல் நன்கு கட்டுப்படுத்தப்பட்ட நிலையில் வெளிவருகிறது.

அணு உலையிலிருந்து வெளிவருவது வெப்ப ஆற்றலே ஆகும். இது அணு உலையைச் சூழ்ந்துள்ள நீர் சுமந்த குழாய்களை சூடேற்றி அவற்றை உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள நீராவியாக மாற்றுகிறது. இந்த நீராவி டர்பைன் (Turbine) எனப்படும் " சுழலி "களுக்கு அனுப்பப்பட்டு சுழற்சி ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. டர்பைன்களுடன் டைனமோக்களை இணைத்தால் சுழற்சி ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாறுகிறது.

அணு உலைகளின் பயன்கள்

(1) அணு உலைகள் கப்பல்களை இயக்குவதற்குத் தேவையான ஆற்றலைத் தருகின்றன. அணு உலைகளை பெரிய ஊர்திகளில் மட்டுமே பொருத்த முடிகிறது. ஏனெனில் அணு பிளவுறும்போது ஆற்றல் வெப்பமாக மட்டும் வெளிவராமல் சில கதிர் வீச்சுக்கள் வடிவிலும் வெளிவருகின்றன. இவை மனிதனுக்கு ஆபத்தை விளைவிக்கக் கூடியன. இவற்றிலிருந்து நம்மைக் காப்பாற்றிக் கொள்ள தடித்த ஈயச் சுவர்கள் தேவைப்படுகின்றன. எனவே அணு உலையின் எடை மிக மிக அதிகமாகிவிடுகிறது.

(2) கதிர்வீச்சுத் தன்மையுள்ள ஐசோடோப்புகளைத் தயாரிப்பதற்கு அணு உலைகள் பயன்படுகின்றன. சோடியம், பாஸ்வரம், கோபால்ட் போன்ற பொருட்களை அணு உலையினுள் வைத்து கதிர் வீச்சுத் தன்மையுள்ள பொருட்களாக மாற்றி விடுகிறார்கள். இச்செயல் " சமையல் " (cooking) எனப்படு

கிறது. கதிர் வீச்சுத் தனிமங்களின் பயன்கள் கதிரியக்கம் என்ற தலைப்பில் விரிவாகத் தரப்பட்டுள்ளது.

(3) அணு உலையில் வைக்கப்படும் யுரேனியத்தில் யுரேனியம் 238 அதிகமாக இருப்பதாகவும் அது பிளவுறுவதில்லை என்றும் கூறினோம். ஆனால் அது நியூட்ரான்களை ஏற்றும் β துகள்களை வெளியிட்டும் $^{94}Pu_{239}$ என்ற பிளவுறக்கூடிய ப்ளூடோனியம் 239 என்ற தனிமமாக மாறுகிறது. இவ்வாறே அணு உலையில் சாதாரண தோரியத்தை வைத்து அதைப் பிளவுறக்கூடிய யுரேனியம் 233 ஆக மாற்றலாம்.

இதுவரை அணுக் கருவை உடைப்பதன் மூலம் ஆற்றல் வெளி வருவதைக் கண்டோம். இனி அணுக்கருக்களை உருக்கி இணைத்து புதிய ஓர் அணுக்கருவை உண்டாக்குவதன் மூலம் ஆற்றல் பெறப் படும் விதத்தைப் பார்ப்போம்.

அணுக்கரு உருக்கல் (Nuclear fusion)

நாம் தினமும் பார்க்கும் கதிரவன் உலகம் நடைபெற, பயிர் பச்சை செழிக்க அளவற்ற ஆற்றலை வெப்பமாகவும், ஒளியாகவும் தந்து கொண்டிருக்கிறதே அது எப்படி? என்று மனிதனின் சிந்தனை ஓடியது. அடுப்பு எரியும் போதும் வெப்பமும் வெளிச் சமும் வெளிவருகின்றன. அப்படி சூரியனும் எரிந்து கொண்டிருக் கிறதா ? அப்படி எரிந்து ஆற்றலை வெளிவிடுவது என்றால் அது எவ்வளவு பெரிதாக இருந்தாலும் ஒரு சில நூறு வருஷங்களுக்குத் தானே தொடர்ந்து எரிய இயலும். அதன் வயது என்ன ? சூரிய னிடமிருந்து பிறந்தது தான் பூமி. அதன் வயதே 1.6 பில்லியன் ஆண்டுகள் எனவே சூரியன் நிச்சயமாக பூமியைவிட பல ஆண்டு கள் மூத்ததாக இருக்க வேண்டும். மேலும் சூரியன் நமது பூமியின் ஒரு சதுர மைல் பரப்பின் மீது கொட்டுகின்ற ஆற்றல் 4,690,000 குதிரைத் திறன் எனக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள். சூரியன் வீசும் ஆற்றலில் ஒரு சிறு பகுதிதான் நம் பூமியை அடைகிறது; பெரும் பகுதி விசும்பில் பரவிச் செல்கிறது, இந்த முறையில் கணக்கிட்டால் சூரியனின் ஒரு சதுர சென்டி மீட்டர் பரப்பி லிருந்து ஒரு வினாடிக்கு 6.2×10^{10} எர்க்குகள் அல்லது 6.2×10^{3} ஜூல்கள் அல்லது 1.476×10^{3} கலோரிகள் வெளிவருகின்றன. இவ்வளவு ஆற்றலும் சூரியன் எரிவதால் உண்டாக இயலாது. சூரியனின் மேற்பரப்பு 6000°C வெப்ப நிலையிலும் உட்பகுதி 20 மில்லியன் டிகிரியிலும் உள்ளன. சூரியனுக்குள் ஹைட்ரஜன், கார்பன், நைட்ரஜன் போன்ற தனிமங்களும் வேறு சில தனிமங் களும் ஏராளமான அளவில் இருக்கின்றன.

சூரியனின் உட்பகுதி 20 மில்லியன் டிகிரி வெப்பநிலையில் இருப்பதாகக் கூறினோம் அந்த உயர்ந்த வெப்பநிலையில் ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் உடைந்து புரோட்டன்களாகவும் எலெக்ட்ரான்களாகவும் மாறுகின்றன. புரோட்டான் என்பது ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவே ஆகும். இது போன்றே கார்பன் அணுவும் தன் எலெக்ட்ரான்களை இழந்து கார்பன் அணுக்கருவாகிறது. இந்தக் கார்பன் அணுக்கரு தொடர்ந்து ஒன்றன் பின் ஒன்றாக நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களைப் பிடித்து உருக்கி ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவை உருவாக்குகிறது. இங்கு கார்பன் அணுக்கரு உருவாக்கும் செயலில் ஈடுபடுகிறதே அன்றி தான் மாற்றமுறுவது இல்லை. அதாவது கார்பன் அணுக்கரு வினை ஊக்கியாகச் செயல்படுகிறது. இச்செயல் வெப்ப அணுக்கரு மாற்றம் (Thermonuclear reaction) எனப்படுகிறது. ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் நிறை 1·008 ஆகும். 4 ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் மொத்த எடை $4 \times 1{\cdot}008 = 4{\cdot}032$ ஆகிறது. ஆனால் உருவாக்கும் ஹீலியம் அணுக்கருவின் எடை 4·03 தான். எனவே இந்த நிகழ்ச்சியில் நிறைக்குறை (mass deficit) ஏற்படுகிறது. அது ஆற்றலாக வெளிவருகிறது. இவ்வாறு 4 ஹைட்ரஜன் அணுக் கருக்களைக் கொண்டு ஒரு ஹீலியம் அணுக் கருவை உருவாக்கும் செயல் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. எனவே கணக்கற்ற ஆற்றல் தொடர்ந்து வெளிவந்து கொண்டே இருக்கிறது. விஞ்ஞானிகளின் கணக்குப்படி ஒவ்வொரு விநாடியும் 570 மில்லியன் டன் ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு உருக்கப்பட்டு 566 மில்லியன் டன் ஹீலியமாக மாற்றப்படுகிறது. அதாவது ஒவ்வொரு விநாடியிலும் 4 மில்லியன் டன் அழிந்து ஆற்றலாக மாறிக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவே சூரியனின் நிறை ஒவ்வொரு விநாடியும் நான்கு மில்லியன் டன் வீதம் குறைந்த கொண்டே வருகிறது என்றாலும் சூரியன் இன்னும் பல கோடி ஆண்டுகள் சூரியன், வாழும் பயிர் பச்சைகளைச் செழிக்கச் செய்யும். மனித வாழ்வை வளப்படுத்தும்.

ஹைட்ரஜன் குண்டு (Hydrogen bomb)

சூரியன் எந்த முறையில் ஆற்றலை வெளிவிடுகிறதோ அதே முறையில்தான் ஹைட்ரஜன் குண்டு வெடிக்கப்படும்போதும் ஆற்றல் வெளிவிடப்படுகிறது. ஹைட்ரஜன் அணுக் கருக்கள் நான்கு ஒன்று சேர்ந்து உருகி ஹீலியம் அணுக் கரு ஒன்றையும் ஆற்றலையும் தோற்றுவிக்கிறது. ஆனால் இந்த உருக்கல் நடைபெற மிக அதிக வெப்ப நிலை தேவை என்று கூறினோம். ஹைட்ரஜன் குண்டில் இத்தகைய வெப்பநிலையை உண்டாக்கும் அமைப்பு

ஒன்று தேவை. அத்தகைய வெப்ப நிலை அணு குண்டு வெடிக்கும் போதுதான் உண்டாகும். எனவே முதலில் அணு குண்டு ஒன்றை வெடித்து மிக உயர்ந்த வெப்ப நிலையை உண்டாக்கி அந்த வெப்ப நிலையில் ஹைட்ரஜன் அணுக் கருக்களை உருக்கி ஹீலியம் அணுக் கரு ஒன்றை தோற்றுவித்து ஆற்றலை வெளிக் கொணர வேண்டும். எனவே ஹைட்ரஜன் குண்டு என்பது அணு குண்டையும் ஹைட்ரஜனையும் உள்ளடக்கிய ஓர் அமைப்பாகும். ஆனால் அணுகுண்டு ஓர் அளவுக்கு உட்பட்டது. அதாவது அதிலுள்ள யுரேனியம் கட்டிகள் மாறுதான அளவை விட சிறியதாக இருக்கவேண்டும் என்ற கட்டுப்பாடுள்ளது. எனவே அணுகுண்டின் அழிவிற்கு ஒரு எல்லை உண்டு. ஆனால் ஹைட்ரஜன் குண்டின் அமைப்பில் அத்தகைய கட்டுப்பாடு ஏதும் இல்லை. அணுகுண்டு வெடித்து உண்டாகும் உயர்ந்த வெப்பநிலையில் எவ்வளவு ஹைட்ரஜன் தரப்படுகிறதோ அவ்வளவுக்கு அழிவும் அதிகமாகும். அதாவது ஹைட்ரஜன் குண்டின் அழிவுக்கு எல்லையே இல்லை. ஒரு மெகா டன் எடையுள்ள ஒரு ஹைட்ரஜன் குண்டு இன்று உலகில் உள்ள எந்த ஒரு பெரிய நகரத்தையும் சுடுகாடாக்கப் போது மானது என்றால் அதன் அழிவுத் தன்மையை ஊகித்து அறியலாம். இத்தகைய குண்டுகள் அப்போது உண்டாக்கும் அழிவுகளோடு வருங்காலத்தையும் பாதிக்கின்றன. அவை பரப்பும் கதிர்வீச்சுகளும், கதிரியக்க சாம்பல்களும் பயிர் பச்சைகளையும், உயிர்களையும் வெகுவாகப் பாதிக்கின்றன. அந்த பாதிப்பு பல ஆண்டு காலத்திற்கு மனித வாழ்வை முடமாக்குகின்றன.

இன்று விஞ்ஞானிகள் ஆற்றல் வாய்ந்தவர்களாக இல்லை. வெறும் அறிவாளிகளாக மட்டுமே இருக்கிறார்கள். அவர்கள் அலாவுதீன் விளக்கினுள் அடங்கிய ஆற்றல் மிக்க பூதத்தைப் போல அரசியல்வாதிகளின் பிடியில் சிக்கி அடிமை வாழ்வு வாழ்கிறார்கள். அவர்கள் அரசியல்வாதிகளிடமிருந்து விடுதலை பெற்று மக்கள் நல் வாழ்விற்காக இந்த வியத்தகு அணுக்கரு ஆற்றலைப் பயன்படுத்தும் நிலை வருமாயின் மனிதனின் வாழ்வு செழிக்கும்; மண்ணில் சொர்க்கத்தைக் காணலாம்.

காஸ்மிக் கதிர்கள்

(Cosmic Rays)

நாம் வாழும் பூமி, உயிர் வாழ்க்கைக்குக் கேடு விளைவிக்கும் கண்ணுக்குப் புலனாகாத பல கதிர்களினால் எப்போதும் தாக்கப்பட்டுக் கொண்டிருக்கிறது என்றும், பூமியைச் சுற்றிப் பரவியுள்ள காற்று மண்டலத்தினால் அத்தீய விளைவுகளினின்றும் உயிரினங்கள் காப்பாற்றப்படுகின்றன என்றும் அறிவோம். இவ்வாறு விண்வெளி மண்டலத்திலிருந்து பூமியைத் தாக்குகின்ற கதிர்களில் காஸ்மிக் கதிரும் ஒன்று. Cosmic என்பதற்கு ‘விண்வெளியின் ஆழத்திலிருந்து’ என்று பொருள். இக் கதிர்கள் பூமிக்கு வெளியிலிருந்து வருகின்றன என்று அறிய முடிகிறதே தவிர எங்கிருந்து வருகின்றன, எதிலிருந்து வருகின்றன என்ற உண்மை இன்று வரை புலப்படாத ஒன்று.

இக் கதிர்கள் நாம் இதுவரை அறிந்த கதிர்களுக்குள் மிக மிகக் குறைந்த அலை நீளமுடையவை. (·001 ஆ. அலகுகளுக்கும் குறைவு) இவற்றின் ஆற்றல் மிக மிக அதிகம். கடினமான பாறைகளுக்குள்ளும் நூற்றுக்கணக்கான அடி தூரம் ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றல் இவற்றிற்கு உண்டு.

காஸ்மிக் கதிர்களில் இருவகைகள் உண்டு. (1) நாம் அறியாத, அண்ட வெளியின் எங்கோ ஓரிடத்திலிருந்து வியக்கத்தக்க பேராற்றலுடன் பூமிக்குப் பாய்ந்து வரும் முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்கள் (Primary Cosmic rays). இவற்றின் ஆற்றல் பல ஆயிரங்கோடி எலெக்ட்ரான் வோல்டிலிருந்து கோடி கோடி எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் வரை இருக்கின்றது. ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்தப் புலத்தில் செல்லும்போது பெறுகின்ற ஆற்றல் ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் எனப்படும்.

(2) மேற்கூறிய முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்கள் நம் காற்று மண்டல மேற்பரப்பில் இருக்கின்ற ஆக்சிஜன், நைட்டிரஜன் போன்ற வாயு அணுக்களை மோதி உடைத்துத் தூள் தூளாக்கு கின்றன. இதனால் ஆற்றல் மிக்க "துணைக் காஸ்மிக் கதிர்கள்" (Secondary Cosmic rays) உண்டாகின்றன. இவற்றில் எலெக்ட்ரான்களும், மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களுமே (அயனிகள்) இருக் கின்றன. இவை மேலும் அங்குள்ள அணுக்களுடன் மோதி மேலும் பல அயனிகளையும் γ கதிர்களையும் தோற்றுவிக்கின்றன; இவை பூமியை நோக்கி வரவர, காற்று மண்டலத்தின் செறிவு அதிகமாவதால் இவைகளுக்கிடையே ஏற்படும் மோதல்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகி இவற்றின் ஆற்றல் குறைந்து விடுகிறது. பூமிக்கு வந்து சேரும் துணை காஸ்மிக் கதிர்களில் நேர்மின்னூட்டம் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட அயனிகளும் γ கதிர்களும், நியூட்ரான்களும், பாசிட்ரான் (positron)களும் காணப்படுகின் றன. பூமியிலிருந்து மேலே போகப் போகக் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு அதிகமாகிக் கொண்டே போகிறது. ஸ்டிராடோஸ்ஃபியர் (Stratosphere) எனப்படும் அடுக்கு மண்டலத்தில் காணப்படும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு பூமியின் பரப்பில் காணப்படும் செறி வினைப்போல் நூறு மடங்கு அதிகமிருக்கிறது.

பூமியின் காந்தப் பண்பு காரணமாகக் காஸ்மிக் கதிர்கள் பூமியின் துருவ மண்டலங்களில் அதிகமாகவும், பூமத்தியரேகைப் பகுதிகளில் குறைவாகவும் இறங்குகின்றன. அவ்வாறு இறங்கும் முதன்மைக் கதிர்களில் ஏறத்தாழ 85% நேர்மின்னூட்டமுடைய புரோட்டான்களே ஆகும். இவை காற்று மண்டல, ஆக்சிஜன் மற்றும் நைட்ரஜன் அணுக்களுடன் மோதும்போது குறைந்த ஆயுள் உடைய நிலையற்ற மீசான் (Meson) என்ற ஒரு துகள் தோன்றுகிறது. அது வெகு விரைவில் அழிந்து பலவிதமான மின்னூட்டமுடைய துகள்களாக மாறிவிடுகின்றது.

காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு (Cosmic ray showers)

காஸ்மிக் கதிர்களை ஈயத் தகடுகள் போன்ற சில பொருள் களின் வழியே செலுத்தினால் ஏராளமான எலெக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு திடீரென ஈயத் தகட்டிலிருந்து ஏராளமான துகள்கள் பொழியப்படுவதால் இந் நிகழ்ச்சி காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு எனப்படுகிறது.

காஸ்மிக் கதிரில் உள்ள ஒரு γ கதிர் ஈயம் போன்ற கனமான அணுவின் எலெக்ட்ரான் கட்டமைப்புடன் பின்னிச் செயல்படும் போது அது (γ கதிர்) ''எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இணை'' (Electron positron pair)யாக மாற்றப்படுகிறது (அஃதாவது ஆற்றல் பொருளாக மாற்றப்படுகிறது). இவ்வாறு உண்டான எலெக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் அணுக்கருவின் மின்புலத்தினால் முடுக்கந்தரப்படும்போது அவை மீண்டும் γ கதிர்களாக மாறுகின்றன. (பொருள் இங்கு ஆற்றலாக மாறுகிறது.) இக் காமா கதிர்கள் மீண்டும் எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இணைகளை உண்டாக்குகின்றன. இவ்வினைவு மாறி மாறி நிகழ ஈயத் தகட்டை விட்டு வெளிவரும்போது நிறைய பாசிட்ரான்களும் எலெக்ட்ரான்களும் காணப்படுகின்றன.

அணுவின் கட்டமைப்பு
(Atomic Structure)

'உடைக்க முடியாத ஒன்று' என்று பொருள் தரும் கிரேக்கச் சொல்லிலிருந்து உருவானதுதான் 'ஆட்டம்' (atom) எனப் படும் அணு. 1808 ஆம் ஆண்டில் டால்டன் என்ற விஞ்ஞான மேதை, அன்று அவர் அறிந்திருந்த உண்மைகளைக் கொண்டு அணுவைப்பற்றிய பின்வரும் கொள்கைகளைக் கூறினார். அவருடைய கூற்றுப்படி (1) எல்லாப் பொருள்களும் அணு என்ற மிகச் சிறிய துகளால் ஆனவை. (2) ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் எல்லாவகையிலும் (எடையிலும்) முற்றிலும் ஒத்திருக்கின்றன ஆனால் ஒரு தனிமத்தின் அணுக்களிலிருந்து மற்றொரு தனிமத்தின் அணு வேறுபடுகிறது. (3) அணுவை ஆக்கவோ அழிக்கவோ இயலாது. மேலும் அவர் கூறிய சில விதிகள் அணுவின் கட்டமைப்பு பற்றிய நமது ஆய்வுக்குத் தேவையற்றன.

மைக்கேல் ஃபாரடேயின் மின்னாற் பகுப்புமுறைச் சோதனைகள் அணுவினுள் நேர்மின்னூட்டமும் எதிர்மின்னூட்டமும் இருக்கின்றன என்ற உண்மையைத் தெளிவுபடுத்தின. சாதாரண நிலையில், அணு மின்னூட்ட மற்ற நிலையிலிருப்பதற்குக் காரணம் அதில் சம அளவுடைய நேர் மின்னூட்டமும் எதிர் மின்னூட்டமும் இருப்பதே என்ற கருத்தும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது.

1897-ஆம் ஆண்டில் J. J. தாம்சன் என்பவர் ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையில் $\frac{1}{1840}$ மடங்கு எடையும் ஓர் அலகு எதிர் மின்னூட்டமும் கொண்ட எலெக்ட்ரான் என்ற துகளைக் கண்டு பிடித்தார். பின்னர் லார்ட் ரூதர்ஃபோர்ட் என்ற விஞ்ஞானி ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையும், எலெக்ட்ரானின் எதிர் மின்னூட்ட அளவுக்குச் சமமான ஆனால் நேர் மின்னூட்டமுடைய புரோட்டான் (Proton) என்ற ஒரு துகளைக் கண்டுபிடித்தார்.

இவ்வாறு அணு என்பது ஓர் அடிப்படைத்துகள் அன்று எனவும், அதில் எலெக்ட்ரான் என்ற எடையற்ற (மிக மிகக் குறைந்த எடையுள்ள) ஓர் அலகு எதிர் மின்னூட்டமுள்ள துகளும், புரோட்டான் என்ற ஓர் அலகு நிறையும், ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டமுடைய மற்றொருவகைத் துகளும் இருக்கின்றன எனவும் கண்ட விஞ்ஞானிகள் அணுவின் கட்டமைப்பு பற்றிய கருத்துக்களைக் கூறினார்கள்.

ருதர்ஃபோர்ட் - அணு மாதிரியமைப்பு

புரோட்டான்களைக் கொண்ட அணுக் கருவை (Nucleus) மையமாகக் கொண்டு வட்டமான பாதையில் எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருகின்றன. சுற்றி வருகின்ற எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த எதிர் மின்னூட்டத்தின் அளவும், அணுக் கருவிலமைந்த புரோட்டான்களின் மொத்த மின்னூட்டத்தின் அளவும் சமமாகும். அணுக் கருவுக்கும் எலெக்ட்ரான்களுக்குமிடையே ஏற்படுகின்ற ஈர்ப்பு விசையை எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருகின்ற காரணத்தால் உண்டாகும் மைய விலக்கு விசை (Centrifugal force) சமன் செய்து விடுவதால் அணு கட்டுக்குலையாமல் இருக்கிறது. ஆனால் மின்காந்தக் கொள்கைப்படி ஒரு மின்னூட்டம் அசைந்தால் அஃது ஆற்றலை வெளிவிடவேண்டும். அவ்வாறாயின் தொடர்ந்து சுற்றிக் கொண்டிருப்பதாக ருதர்ஃபோர்டு கூறிய எலெக்ட்ரான்களும் ஆற்றலைத் தொடர்ந்து வெளியிட்டுக்கொண்டிருக்க வேண்டும். இவ்வாறு தொடர்ந்து ஆற்றலை இழந்து கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு சுழிப் பாதை (Spiral path) வழியே அணுக்கருவை அடைந்து அதில் மோதி அணுவின் கட்டமைப்பைக் குலைத்துவிடும். இவ்வாறு அணுவின் கட்டமைப்புக்காகக் கற்பித்த ஒரு கூற்று அதன் கட்டமைப்பினையே குலைத்து விடுவதைக் கண்ட விஞ்ஞானிகள் இருவகை முடிவுகளுக்கு வந்தனர். (1) மையத்தில் அணுக்கருவையும் அதைச் சுற்றி வட்டப்பாதைகளில் சுழன்றுவரும் எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்ட ருதர்ஃபோர்டின் அணுமாதிரி பிழையாக இருக்கவேண்டும். அல்லது (2) அணுவைப் பொருத்தவரையில் அசையும் மின்னூட்டம் ஆற்றலை வெளியிடும் என்ற மின்காந்தக் கொள்கை ஒத்து வருவதில்லை. இந்தக் குழப்பத்தை நீல் போர் (Niels Bohr) என்ற மேதை தீர்த்து வைத்தார்.

போர் அணு மாதிரி (Bohr's Atom Model)

அணுவைப் பொறுத்த வரை மின் காந்தக் கொள்கை சிக்கல்கள் உண்டாவதைக் கண்ட போர் அணுவின் கட்டமைப்பைப்

பொறுத்தவரை மின் காந்தக் கொள்கை பொய்த்துவிடுகிறது எனத் துணிந்து கூறினர். தன் அணு மாதிரிக்கு உறுதுணையாக இரு அடிக்கோள்களை (postulates) உருவாக்கிக் கொண்டார், அவற்றின் அடிப்படையில் அணுவின் அமைப்பை நிறுவி நிறமாலை வரிகளின் தோற்றம், அவற்றில் காணப்படும் நுண்ணமைப்பு இவற்றிற்கான காரணங்களைத் தெளிவாக விளக்கினர்.

போரின் அடிக்கோள்கள்

(1) எலெக்ட்ரான்கள், அணுக் கருவைச் சுற்றி அமைந்துள்ள தனிச் சலுகைப் பாதைகளில் (privileged orbits) சுற்றி வருகின்றன. இவ்வீதிகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்கள் மின் காந்த அலைக் கொள்கைப்படி ஆற்றலை வீசுவது இல்லை.

மேற்கூறிய வீதிகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்கள் மின் காந்த அலைக் கொள்கைக்கு உட்படாத காரணத்தினுல் தான் அவ்வீதிகள் தனிச் சலுகை வீதிகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. மேலும் இப்பாதைகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் அவைகளுக்கென வரையறுக்கப்பட்ட அளவுடைய ஆற்றல் உண்டு எனவே இவற்றை குவாண்டம் வீதிகள் என்றும் கூறுவர். இப்பாதைகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்கள் விசையியல் மற்றும் நிலை மின்னியல் விதிகட்கு உட்பட்டே நடக்கின்றன.

(2) போரின் இரண்டாவது அடிக்கோள் நிறமாலைகளின் பிறப்புப் பற்றியதாகும். ஏதாவது ஒரு காரணத்தினுல் அதிக ஆற்றலுடைய சுற்றுப்பாதை ஒன்றிலிருந்து குறைந்த ஆற்றலுடைய இன்னொரு சுற்றுப்பாதைக்கு எலெக்ட்ரான் தாவ நேரிட்டால் அது ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக வெளியிடுகிறது. அவ்வாறு வெளியிடும் ஆற்றலின் அளவு, தாவல் சம்மந்தப்பட்ட இரு வீதிகளின் ஆற்றல் வித்தியாசத்திற்குச் சமமாகும்.

மேற்கூறிய அடிக்கோள்களின் துணை கொண்டு அணு மாதிரியைப் படைத்த நீல் போர் தனிச் சலுகை வீதிகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்களின் கோண உந்தம் (angular momentum) $\frac{h}{2\pi}$ -ன் முழு எண் மடங்குகளாகவே இருக்கும் எனக் கண்டார். இங்கு h என்பது ப்ளாங்க் மாறிலியாகும்.

E_2 என்னும் ஆற்றலுள்ள பாதையிலிருந்து E_1 என்ற ஆற்றலுள்ள பாதைக்குத் தாவ நேரும் எலெக்ட்ரான் அவ்விரு பாதைகளுக்குமிடையே உள்ள ஆற்றல் வேறுபாடாகிய $E_2 - E_1$-ஐ ஓர்

ஆற்றல் முடிச்சாக (குவாண்டமாக)த்தான் வெளியிட முடியும். வெளியிடும் கதிர் வீச்சின் அதிர்வு எண் v என்றால் $E_2 - E_1 = hv$ ஆகும். இங்கு h என்பது ப்ளாங்க் மாறிலியாகும்.

சலுகை வீதியின் ஆரமும் ஆற்றல் அளவும்

Z என்னும் அணு எண் கொண்ட ஓர் அணுவை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் அணுக் கருவின் மின்னூட்டம் Ze ஆகும். அணுக் கருவைச் சுற்றி r என்னும் ஆரமுடைய பாதையில் v என்ற திசைவேகத்துடன் ஓர் எலெக்ட்ரான் சுற்றி வருவதாகவும் அதன் மின்னூட்டம் $-e$ என்றும் நிறை m என்றும் கொள்வோம்.

அணு நிலைத் தன்மை பெற்றிருக்க வேண்டுமென்றால் எலெக்ட்ரானுக்கும் அணுக்கருவுக்குமிடையே உள்ள நிலை மின்னியல் ஈர்ப்பு விசையும், எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவைச் சுற்றி வட்ட பாதையில் ஓடுவதால் ஏற்படும் மைய விலக்கு விசை (centrifugal force) ஒன்றை ஒன்று சமப்படுத்த வேண்டும்.

நிலை மின்னியல் விதியின்படி அணுக்கருவிற்கும் எலெக்ட்ரானுக்குமிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசை $= \dfrac{Ze \cdot e}{4\pi K_0 r^2}$

இங்கு K_0 என்பது வெற்றிடத்தின் மின்கடத்துத் திறன் என்று அறிக. அதன் மதிப்பு $8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ ஃபாரட்/மீட்டர்.

m நிறையுடைய எலெக்ட்ரான் r ஆரமுடைய பாதையில் v என்ற வேகத்துடன் சுற்றும் போது உண்டாகும் மைய விலக்கு விசை $= \dfrac{mv^2}{r}$

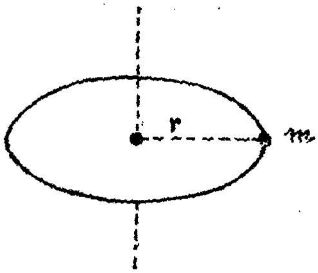
இவை ஒன்றை ஒன்று சமப்படுத்த வேண்டுமாதலால்

$$\frac{Ze^2}{4\pi K_0 r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\text{அல்லது} \quad v^2 = \frac{Ze^2}{4\pi K_0 m r} \qquad \ldots \quad (1)$$

எலெக்ட்ரானின் நிலைமத் திருப்புத் திறன் I என்றும் கோண திசைவேகம் ω என்றும் கொண்டால் அதன் கோண உந்தம் $I\omega$ ஆகும். முதல் அடிக்கோளின் முடிவுப்படி எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம் $\dfrac{h}{2\pi}$ -ன் முழு எண் மதிப்பாக இருக்க வேண்டும்;

ஆகவே $I\omega = n\frac{h}{2\pi}$ இங்கு n என்பது ஒரு முழு எண் ஆகும். m நிறையுடைய எலெக்ட்ரானுக்கு அதன் வட்ட பாதையின் மையம் வழியே செல்லும் அச்சில் நிலைமத் திருப்புத்திறன் கணக்கிட $I = mr^2$ ஆகும். மேலும் $\omega = \frac{v}{r}$ ஆகும்.



படம் 188

எனவே,

$$mr^2 \cdot \frac{v}{r} = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

அல்லது $v = \frac{nh}{2\pi mr}$

$$v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2} \qquad \ldots \qquad (2)$$

சமன்பாடு (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றை ஒப்பிட

$$\frac{Ze^2}{4\pi K_0 mr} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2}$$

$$r = \frac{K_0 n^2 h^2}{\pi m Ze^2} \qquad \ldots \qquad (3)$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து தனிச்சலுகை வீதியின் ஆரம் r என்பது n^2 க்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதை அறிகிறோம். இங்கு $n = 1, 2, 3, 4, \ldots\ldots$ ஆகும். n என்ற எண்ணுக்கு குவாண்டம் எண் (Quantum number) என்று பெயர். இதனை எலெக்ட்ரானின் முதன்மைக் குவாண்டம் எண் என்பதே முற்றிலும் பொருத்தமானது.

Ze என்ற மின்னூட்டத்திலிருந்து r தூரத்தில் வெற்றிடத்திலமைந்த புள்ளியில் உள் நிலைமின்னியல் அழுத்தம் $\frac{Ze}{4\pi K_0 r}$ என அறிவோம். அங்கு $-e$ என்ற மின்னூட்டம் கொண்டு வரப்படுவதற்கு அதன் மீது செய்யப்படும் வேலையின் அளவுதான் அதற்குள்ள நிலை ஆற்றல் என அறிவோம்.

எனவே r என்ற ஆரமுடைய பாதையிலமைந்த எலெக்ட்ரானின் நிலை ஆற்றல்

$$= -\frac{Ze^2}{4\pi K_0 r} \text{ ஆகும்.}$$

எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m \cdot \frac{Ze^2}{4\pi K_0 mr} = \frac{Ze^2}{8\pi K_0 . r}$$

எலெக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் } = நிலை ஆற்றல் + இயக்க ஆற்றல்

$$= -\frac{Ze^2}{4\pi K_0 r} + \frac{Ze^2}{8\pi K_0 r}$$

$$E = -\frac{Ze^2}{8\pi K_0 r}$$

இதில் சமன்பாடு (3) லிருந்து r ன் மதிப்பினை பதிலீடு செய்ய

$$E = -\frac{Ze^2}{8\pi K_0} \cdot \frac{\pi m Ze^2}{n^2 h^2 K_0}$$

$$= -\frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 n^2 h^2} \qquad \dots \qquad (4)$$

இச்சமன்பாட்டை கூர்ந்து நோக்குக. இதில் n-ன் எண் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக E-ன் மதிப்பு குறைகிறது என்றாலும் அதற்கு முன்னே உள்ள எதிர்க்குறி (— குறி) ஆற்றல் உள்ளபடியே அதிக மாகிறது என்று காட்டுகிறது. எனவே வெளி வீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் உள் வீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் ஆற்றலை விட அதிகம் என்பதை உணரலாம்.

எடுத்துக் காட்டாக வெளி வீதி ஒன்றின் குவான்டம் எண் n_2 என்றும் அதன் ஆற்றல் E_2 என்றும் கொண்டால்

$$E_2 = -\frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 n_2^2 h^2} \text{ ஆகும்.}$$

அவ்வாறே உள் வீதி ஒன்றின் குவான்டம் எண் n_1 என்றும் அதன் ஆற்றல் E_1 என்றும் கொண்டால்

$$E_1 = -\frac{m Z^2 e^4}{8 K_0 n_1^2 h^2} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே n_2 என்ற குவான்டம் வீதியிலிருந்து n_1 என்ற குவான்டம் வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் தாவும் போது வெளிவிடும் ஆற்றல் $E_2 - E_1$ ஆகும்.

$$E_2 - E_1 = -\frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 n_2^2 h^2} - \left[-\frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 n_1^2 h^2}\right]$$

$$= + \frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 h^2}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

இது இரண்டாவது அடிக்கோளின் முடிவுப்படி $h\nu$ க்குச் சமமாகும்.

எனவே

$$h\nu = \frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 h^2}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$\nu = \frac{m Z^2 e^4}{8 K_0^2 h^3}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

ஒளியின் திசைவேகம் C என்றால்

$$C = \nu\lambda \text{ ஆகும் எனவே } \lambda = \frac{C}{\nu}$$

ஓரலகு நீளத்தில் அடங்கியுள்ள அலைகளின் எண்ணிக்கைக்கு அலை எண் (wave number) என்று பெயர் இது $\frac{1}{\lambda}$ ஆகும். இதை $\bar{\nu}$ என்ற எழுத்தால் குறிப்பர்.

$$\therefore \quad \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{C}$$

$$= \frac{m Z^2 e^4}{8 K_0 C h^3}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறமாலை
(Spectrum of hydrogen atom)

ஹைட்ரஜன் அணுவின் அணு எண் $Z = 1$ ஆகும். எனவே போர் கூறிய கொள்கைப்படி ஹைட்ரஜன் அணு தரும் நிறமாலை வரிகளின் அலை எண்கள்

$$\bar{\nu} = \frac{m e^4}{8 K_0^2 C h^3}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] \text{ என்னும்}$$

சமன்பாட்டிற்கு ஒத்து வரவேண்டும்.

லைமன் தொடர் (Lyman series)

மேற்கூறியச் சமன்பாட்டில் $n_1 = 1$ மற்றும் $n_2 = 2, 3, 4, 5, \ldots$ என பதிலீடு செய்யும் போது 2, 3, 4, 5, ... என்ற குவான்டம் எண்களைக் கொண்ட வீதிகளிலிருந்து 1 என்னும் குவான்டம் எண் கொண்ட முதல் வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் தாவல்கள் நடைபெறுவதால் உண்டாகும் நிறமாலை வரிகளின் அலை எண்கள் கிடைக்கின்றன. இந்த அலை எண்களைக் கொண்ட நிறமாலைத் தொடருக்கு லைமன் தொடர் என்று பெயர். இவை ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் புற ஊதாப் பகுதியில் காணப்படுகின்றன. இந்த வரித் தொடர்கள் 1915 ஆண்டில்தான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன என்றாலும் இவைகளின் அலை எண்களை 1913 ஆம் ஆண்டிலேயே கணித்த பெருமை போர் கொள்கைக்குக் கிடைத்த பெரு வெற்றியாகும்.

பாமர் தொடர் (Balmer Series)

1885 ஆம் ஆண்டில் J. J. பாமர் என்ற ஒரு பள்ளி ஆசிரியர் அணுவின் நிறமாலை வரிகள் சிலவற்றின் அலை எண்களை சோதனைகளின் மூலம் கண்டறிந்து அந்த நிறமாலை வரிகளுக்கு ஓர் அனுபவ வாய்பாட்டினை (empirical formula) தந்தார். அது

$$\bar{\nu} = R\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$ என்பதாகும்.

இதில் n என்பது 2ஐ விடப் பெரிய முழு எண்களாகும்; சோதனையின் மூலம் அளவிட்ட ஓர் அலை எண்ணைக் கொண்டு Rன் மதிப்பு 109678 எனக் காட்டி பாமர் வரித் தொடருக்கான வாய்பாடு

$$\bar{\nu} = 109678\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$ எனக்

கூறினார்.

போரின் கொள்கைப்படி, *இரண்டாவது வீதிக்கு அப்பாலுள்ள வீதிகளிலிருந்து இரண்டாவது வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் தாவல்கள் நடைபெறுவதால் பாமர் தொடர் கிடைக்கிறது

எனவே $$\bar{\nu} = \frac{me^4}{8\,K_0^2\,Ch^3}\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

---

*ஆற்றல் வீதிப் படம் எண் 189 பார்க்க

இங்கு $n = 3, 4, 5, 6$ ...... என இருக்கும். இச்சமன்பாட்டில் m, e, K_0, C, h ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களை பதிலீடு செய்ய 10970000 என்ற எண் கிடைக்கிறது. மேற்கூறியுள்ள வாய்பாடு மீ. கிகி. செ. முறையில் அமைந்திருப்பதால் அலை எண் மீட்டருக்கு இத்தனை அலைகள் எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. எனவே இந்த எண் பாமர் கண்ட எண்ணைவிட 100 மடங்கு பெரிதாக இருக்கிறது. இந்த எண் ரிட்பர்க் மாறிலி (Rydberg constant) எனப் படும். போர் தன் கொள்கை வழிக் கணக்கிட்ட ரிட்பர்க் மாறிலிக்கும், பாமர் தன் சோதனைகளின் மூலம் அனுபவாயிலாகக் கண்டறிந்த ரிட்பர்க் மாறிலிக்கும் காணப்பட்ட வியக்கத்தக்க ஒற்றுமை போரின் கொள்கைக்குக் கிடைத்த மறுக்க இயலாத சான்றாகும். இவ்வரிகள் புலனாகும் ஒளிப் பகுதியிலுள்ளன.

பாஷன் தொடர் (Paschen Series)

குவாண்டம் எண் 3 ஆக உள்ள மூன்றாவது வீதிக்கு வெளியே உள்ள வீதிகளிலிருந்து மூன்றாவது வீதிக்கு நடைபெறும் தாவல்களினால் பாஷன் தொடர் தோன்றுகிறது. இத் தொடரிலுள்ள வரிகளின் அலை எண்களை

$$\bar{\nu} = \frac{me^4}{8 K_0^2 Ch^3} \left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$ என்ற வாய்ப்பாட்டால் குறிக்கலாம். இங்கு $n = 4, 5, 6, 7$, ... என இருக்க வேண்டும். இவை அகச் சிவப்புப் பகுதியில் காணப்படுகின்ற வரிகளாகும்.

பிராக்கெட் தொடர் (Brackett Series)

குவாண்டம் எண் 4 உடைய வீதிக்கு அப்பாலுள்ள, குவாண்டம் எண்கள் 5, 6, 7 ...... உடைய வீதிகளிலிருந்து நிகழும் எலெக்ட்ரான் தாவல்களினால் பிராக்கெட் தொடர் உண்டாகிறது. இத் தொடரிலமைந்த வரிகளின் அலை எண்களை

$$\bar{\nu} = \frac{me^4}{8 K_0^2 Ch^3} \left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

என்ற வாய்ப்பாட்டால் குறிக்கலாம். இங்கு $n = 5, 6, 7, 8$ ...... என இருக்க வேண்டும். இவ்வரிகள் தொலை அகச்சிவப்புப் பகுதி (far infra red region) யில் காணப்படுகின்றன.

குறிப்புகள்

(a) மீட்டர். கி.கிராம். வினாடி முறையில் சில முக்கிய அளவுகள்

(1) எலெக்ட்ரான் நிறை $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ கி. கி.

(2) எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டம் $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ கூலம்

(3) காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் மின் கடத்துத் திறன் } $K_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ ஃபாரட்/மீ

(4) ஒளியின் திசைவேகம் $C = 3 \times 10^8$ மீ/வினாடி

(5) ப்ளாங்க் மாறிலி $h = 6{\cdot}6 \times 10^{-34}$ ஜூல்–வினாடி

(6) ரிட்பர்க் மாறிலி $R = 1{\cdot}097 \times 10^7$/மீட்டர்

(b) ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் குறிப்பிடப்படும் H_α, H_β, H_γ, H_δ வரிகள் பாமர் தொடரில் அமைந்துள்ள முக்கியமான வரிகளாகும். இவை பின்வருமாறு உண்டாகின்றன.

(i) குவான்டம் எண் 3 கொண்ட வீதியிலிருந்து குவான்டம் எண் 2 கொண்ட வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் தாவும் போது H_α வரி உண்டாகிறது.

(ii) குவான்டம் எண் 4 கொண்ட வீதியிலிருந்து குவான்டம் எண் 2 கொண்ட வீதிக்கு நிகழும் எலெக்ட்ரான் தாவல் H_β வரியைக் கொடுக்கிறது.

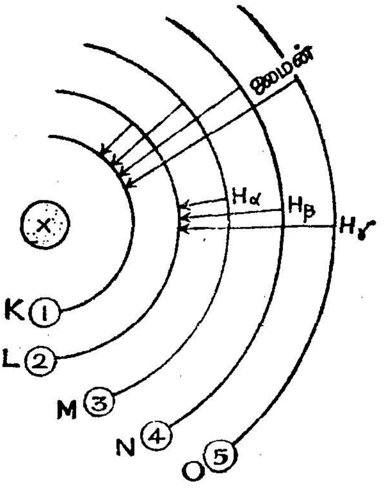
(iii) குவான்டம் எண் 5 கொண்ட வீதியிலிருந்து குவான்டம் எண் 2 கொண்ட வீதிக்கு நிகழும் எலெக்ட்ரான் தாவல் H_γ வரியைத் தருகிறது.

(iv) குவான்டம் எண் 6 உடைய வீதியிலிருந்து குவான்டம் எண் 2 உடைய வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் தாவும் போது H_δ வரி உண்டாகிறது.

படத்தில் $n=1$ ஆகவுடைய முதல் சுற்றுப் பாதைக்கு, அதற்கு வெளியே உள்ள மற்ற சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெறும்போது லைமன் தொடரின் வெவ்வேறு வரிகள் தோன்றுவது காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

இவ்வாறே $n=2$ ஆகவுடைய இரண்டாவது சுற்றுப்பாதைக்கு, அதற்கு வெளியே உள்ள மற்ற பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்

தாவல் நிகழும்போது பாமர் தொடரின் H_α, H_β, H_γ மற்றும் H_δ வரிகளின் தோற்றம் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 189

இது போன்றே மற்ற மற்ற தொடர்களின் தோற்றத்தையும், சுற்றுப்பாதை படத்தின் உதவியால் விளக்கலாம்.

சுற்றுப்பாதை படம் (Orbit diagram)

படத்தில் (189) போரின் கொள்கைப்படி அமைந்த சலுகை பெற்ற சுற்றுப்பாதைகளும், அவற்றிற்குரிய குவான்டம் எண்களும் தரப்பட்டிருக்கின்றன. எந்த இருபாதைகளுக்கு இடையே எலெக்ட்ரான் தாவல் நிகழுகிறதோ, அவ்விரு பாதைகளும் அம்புக்குறியால் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன;

$n = 1, 2, 3, 4$.........என்ற குவான்டம் எண்களைக் கொண்ட சுற்றுப்பாதைகள் முறையே K, L, M, N..........பாதைகள் என வழங்கப்படுகின்றன.

அணு எண்ணும் நிறை எண்ணும் (Atomic number & Mass number)

ஓர் அணுவின் அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது அணுக்கருவில் உள்ள நேர்மின்னூட்டமுடைய புரோட்டான்கள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கை அவ்வணுவின் அணு எண் (atomic number) எனப்படும். இதன்படி ஹைட்ரஜனின் அணு

எண் ஒன்று, ஹீலியத்தின் அணு எண் இரண்டு........யுரேனியத்தின் அணு எண் தொண்ணூற்று இரண்டு என்று அறிகிறோம்.

ஓர் அணுவுக்கு நிறையைத் தருகின்ற அதன் அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் மொத்த எண்ணிக்கை அதன் நிறை எண் (Mass number) எனப்படும். இதன்படி ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை எண் ஒன்று. (அதன் அணுக்கருவில் ஒரே ஒரு புரோட்டான் மட்டுமே உண்டு) ஹீலியத்தின் அணுக்கருவில் இரு புரோட்டான்களும் இரு நியூட்ரான்களும் இருக்கின்றன. எனவே ஹீலியத்தின் நிறை எண் 4 ஆகும். இவ்வாறே யுரேனிய அணுக்கருவில் 92 புரோட்டான்களும் 146 நியூட்ரான்களும் இருப்பதால் அதன் நிறை எண் $92 + 146 = 238$ ஆகும். ஓர் அணுவின் அணு எண் Z என்ற எழுத்தாலும் அதன் நிறை எண் A என்ற எழுத்தாலும் குறிக்கப்படுகின்றன. அணுவின் குறியீட்டிற்கு முன்னால் கீழ்ப்பகுதியில் அணு எண்ணும், பின்னால் மேற்பகுதியில் நிறை எண்ணும் எழுதப்படுவது வழக்கம். இதன்படி ஹைட்ரஜன் $_1H^1$ என்றும், ஹீலியம் $_2He^4$ என்றும், யுரேனியம் $_{92}U^{238}$ என்றும் குறிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறே ஒவ்வோர் அணுவையும் குறிப்பிடலாம்.

கதிர்வீச்சு என்ற தலைப்பில் ஓர் அணுவின் அணுக்கரு மாறும்போது மட்டுமே அணுவின் தனித்தன்மை (individuality) மாறுகிறது எனக் கண்டோம். ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் எல்லாம் முற்றிலும் ஒற்றுமையுடையன என்று டால்டன் கூறியதையும் பார்த்தோம், ஆனால் ஒரே தனிமத்தின் அணுக்கள் வெவ்வேறு நிறைகள் கொண்டிருப்பதையும், ஆனால் அவற்றின் இரசாயன இயல்புகள் ஒரேமாதிரியாக இருப்பதையும் இங்குக் காண்போம். குளோரின் என்ற வாயுத்தனிமத்தில் 35 மற்றும் 37 என்ற நிறை எண்களைக் கொண்ட இருவகை அணுக்கள் உள்ளன. இவை இரண்டும் ஒரே இரசாயனப் பண்புகள் உடையவை. ஆகவே இவற்றிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை சமமாகும். எனவே இவற்றின் அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாகும். குளோரினின் அணு எண் 17 ஆகும். எனவே அணுக்கருவில் 17 புரோட்டான்கள் இருக்கவேண்டும். மீதியுள்ளவை நியூட்ரான்கள் ஆகும். எனவே ஒருவகைக் குளோரினில் $35 - 17 = 18$ நியூட்ரான்களும் மற்றதில் $37 - 17 = 20$ நியூட்ரான்களும் இருக்கவேண்டும். ஆகவே ஒரே தனிமம் பலவகை நிறை எண்களைக் கொண்டிருப்பதற்கு அவற்றின்

அணுக்கருவில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மாறு படுவதே காரணம் என அறிகிறோம். ஒரே அணு எண்ணும் ஆனால் வெவ்வேறு நிறை எண்களும் கொண்ட அணுக்களை ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகள் (isotopes) என்று கூறுகிறோம். ஐசோடோப்புகளின் அணு எண் சமமாக இருப்பதால் அவற்றி லுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அமைப்பும் சமம் என்பதையும், அதன் காரணமாக நிர்ணயிக்கப்படும் இரசாயனப் பண்புகளும் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும் என்பதையும் அறிகிறோம். எனவே ஐசோடோப்புகளை இரசாயன முறையில் பிரித்து எடுக்க இயலாது: அவற்றின் நிறை மாற்ற இயல்பினை வைத்து நிறை நிறமாலை வரைவி (Mass Spectrograph) என்ற கருவிகளாலும் மற்ற ஆவியாதல், விரவிப் பரவல் (diffusion) போன்ற பௌதிக முறைகளாலும் மட்டுமே பிரித்தறிய முடியும்.

தனிம அட்டவணை (Periodic Table)

இயற்கையில் உள்ள தனிமங்களை எல்லாம் குறிப்பிட்ட முறையில் வரிசைப்படுத்தி அட்டவணையிட்ட இரசாயன மேதை கள், குறிப்பிட்ட இயல்புகளைக்கொண்ட தனிமங்கள் எல்லாம் ஒரு தொகுப்பில் (group) வருவதைக் கண்டனர். இதனைத் தனிம அட்டவணை (Periodic Table of elements) என்பர். இவ் வட்டவணையில் பல கிடைமட்ட வரிசைகளும் செங்குத்து வரிசை களும் உண்டு. கிடைமட்ட வரிசைகளை மடக்குகள் (Periods) என்றும் செங்குத்து வரிசைகளைத் தொகுப்புகள் (groups) என்றும் கூறுகிறோம். முதல் தொகுப்பில் ஹைட்ரஜனுடன் காரத்தனிமங் கள் என்று அழைக்கப்படும் லித்தியம், சோடியம், பொட்டாசியம் போன்றவைகளும் இருக்கின்றன. ஒரு தொகுப்பில் உள்ள தனி மங்களின் பண்புகள் ஒன்றுபோல் இருக்கின்றன. தனிமங்களை அவற்றின் அணு எடைப்படி ஏறு வரிசையில் அமைத்து எளிய முறையில் வரிசைப்படுத்தியபோது, ஒரே பண்பைக் கொண்ட தனிமங்கள் ஒரு தொகுப்பில் அமைவதைக் கண்ட விஞ்ஞானிகள் அவற்றின் அணு அமைப்பை ஆராய்ந்தனர்.

தனிமங்களை அவற்றின் எடைப்படி ஏறுவரிசையில் அமைப் பதற்குப் பதிலாக அவற்றின் அணுஎண்படி ஏறு வரிசையில் அமைத்தபோது முன்னர்க் கூறிய தனிம அட்டவணையில் சில இடங்களில் காணப்பட்ட குறைகள் நீங்கி முற்றிலும் சரியான ஓர் அட்டவணை கிடைத்தது. இப் புதிய அட்டவணையிலுள்ள ஒரு மடக்கில் (period) ஒரு தனிமத்திற்கும் அதற்கு அடுத்த தனிமத்

பிற்குமுள்ள அணு எண் வேறுபாடு ஒன்று ஆகும். ஆகவே வெளிச்சுற்றுப்பாதையில் ஒரே எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்கள் ஒரு தொகுதியில் வருகின்றன என்றும் அதனால் அவற்றின் இரசாயனப் பண்புகள் ஒத்திருக்கின்றன என்றும் அறிகிறோம்.

ஓர் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றலுடைய வெவ்வேறு கூடுகளில் (shells) சுற்றி வருகின்றன என்பது குவான்டம் கொள்கை (quantum theory) யின்படி கூறப் படும் விளக்கமாகும். அணுவுக்கு மிக அருகில் உள்ள சுற்றுப் பாதை, *K* சுற்றுப்பாதை எனப்படுகிறது. அதில் உயர்ந்த அளவு இரு எலெக்ட்ரான்களே இருக்க இயலும். அவற்றில் ஒன்று முதற் கூட்டிலும் மற்றது இரண்டாவது கூட்டிலும் சுற்றி வரும்.

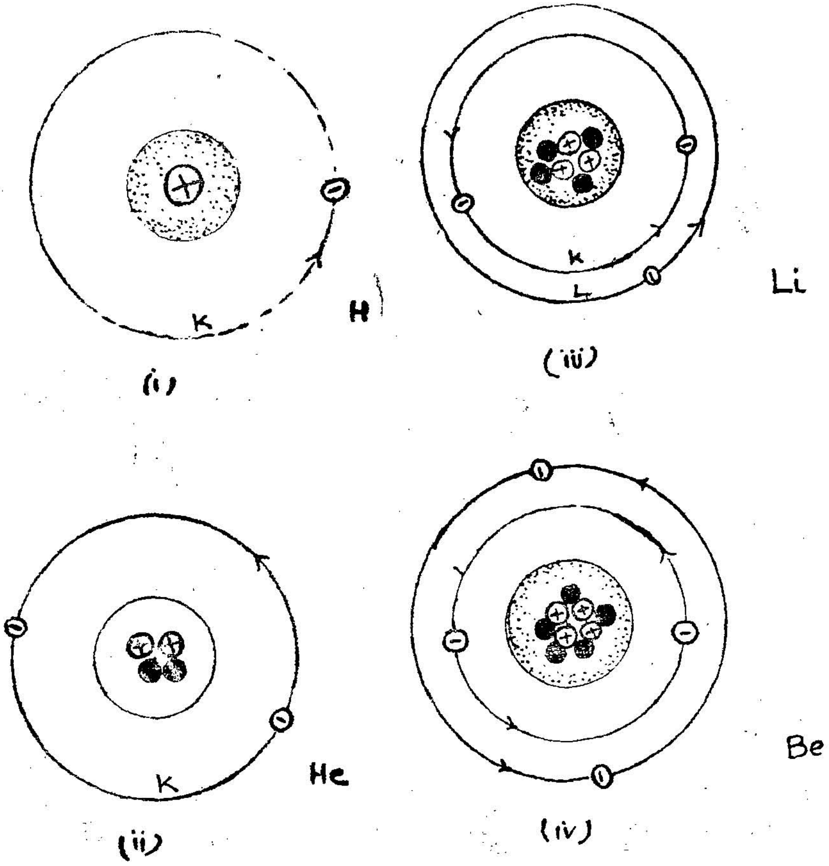
எடுத்துக்காட்டாக ஹைட்ரஜன் அணுவில் உள்ள ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் *K* சுற்றுப்பாதையின் முதல் கூட்டில் சுற்றி வரு கிறது. ஹீலியம் அணுவில் இரு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. அவை இரண்டும் *K* சுற்றுப் பாதையிலுள்ள முதல், இரண்டாவது கூடுகளில் சுற்றி வருகின்றன; ஆகவே *K* சுற்றுப்பாதை முற்றிலும் நிறைந்து காணப்படுகிறது.

K சுற்றுப் பாதைக்கு அடுத்தப்படியாக '*L*' சுற்றுப்பாதையும் அதை அடுத்து *M*, *N*.........போன்ற சுற்றுப் பாதைகளும் இருக் கின்றன. இவற்றில் இருக்கக்கூடிய உயர்ந்த அளவு எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை 8, 18,... .....போன்றவையாகும். பொது வாகச் சுற்றுப்பாதையின் எண் *N* என்றால் அதில் இருக்கக்கூடிய உயர்ந்த அளவு எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $2N^2$ ஆகும். லித்தியம் அணுவில் 3 எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. அவற்றில் இரு எலெக்ட்ரான்கள் *K* சுற்றுப்பாதையின் இரு துணைக்கூடு களிலும் மூன்றாவது எலெக்ட்ரான் *L* பாதையின் முதல் துணைக் கூட்டிலும் இருக்கின்றன. இதே போன்று நியான் என்ற அணுவில் உள்ள 10 எலெக்ட்ரான்களில் *K* பாதையில் 2-ம் *L* பாதையில் 8-ம் இருக்கின்றன. இங்கு வெளிச் சுற்றுப்பாதை யாகிய *L* முற்றிலும் நிறைந்து காணப்படுகிறது. 11 எலெக்ட் ரான்களைக் கொண்ட சோடியம் அணுவில் *K* சுற்றுப்பாதையில் 2-ம், *L* சுற்றுப்பாதையில் 8-ம், *M* சுற்றுப் பாதையில் ஒன்றே ஒன்றும் இருக்கின்றன.

மேற்கூறிய எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுப்பாதை அமைப்பு முறையில் ஹைட்ரஜன், லித்தியம், சோடியம் ஆகியவற்றின்

வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் (outer most orbit) ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான்மட்டுமே இருப்பதைக் காணலாம். எனவே இவையும் இவற்றைப் போன்ற அமைப்புடைய அணுக்களும் ஒரே இரசாயனப் பண்புடையவைகளாக இருக்கின்றன.

ஹீலியம், நியான் போன்ற அணுக்களின் வெளிச்சுற்றுப் பாதை முற்றிலும் நிறைந்து விட்டன. எனவே இவையும், இவற்றைப் போன்று வெளிச் சுற்றுப்பாதை முற்றிலும் நிறைந்துவிட்ட மற்ற அணுக்களும் ஒரே பண்பு கொண்டு விளங்குகின்றன.



(i) ஹைட்ரஜன் அணு (H)
(ii) ஹீலியம் அணு (He)
(iii) லித்தியம் அணு (Li)
(iv) பெரிலியம் அணு (Be)

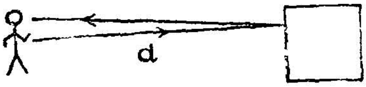
படம் 190

இதே போன்று இரண்டாவது தொகுப்பில் உள்ள அணுக்களின் வெளிச் சுற்றுப்பாதையில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும்,மூன்றாவது தொகுப்பிலுள்ள அணுக்களின் வெளிச்சுற்றுப்பாதையில் மூன்று எலெக்ட்ரான்களும், இவ்வாறே மற்ற மற்றத் தொகுப்பிலுள்ள அணுக்களும் அமைந்து இருப்பதால், ஒரே தொகுப்பில் உள்ள அணுக்களின் பண்புகள் ஒரே மாதிரியாக இருக்கின்றன. எனவே ஓர் அணுவின் இரசாயன, பௌதிகப் பண்புகளை அவ் வணுவின் வெளிச் சுற்றுப்பாதையில் இருக்கின்ற எலெக்ட்ரான்களே தீர் மானிக்கின்றன என்ற உண்மையை அறிகிறோம். இவ் வெளிச் சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான்களைக் கூடுதிறன் எலெக்ட்ரான்கள் (Valence electrons) அல்லது ஒளியியல் எலெக்ட்ரான்கள் (optical electrons) என்றழைக்கிறோம். ஏனெனில் இவற்றின் எண்ணிக் கையைப்பொருத்துதான். இவ்வணுக்கள் இரசாயனச் சேர்க் கையின்போது மற்றொரு தனிமத்தின் அணுவுடன் கூடும் திறன் அமைகிறது. இதே போன்று இவ்வணுவின் வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் உள் சுற்றுப்பாதைகளுக்குத் தாவும்போதுதான் ஆற்றல் நிறமாலை வரிகளாக வெளியிடப் படுகிறது.

ரேடார் (Radar)

ரேடியோ அலைகளைக்கொண்டு, தொலைவில் உள்ள பொருள் களின் இடத்தை அறிதலும் அளவிடுதலும் என்ற பொருளைத் தருகின்ற Radio detection and ranging என்ற சொற்றொடர் பகுதியிலுள்ள அடிக்கோடிட்ட எழுத்துகளைச் சேர்க்க Radar என்ற சொல் உருவாகியது.

நாம் ஒரு பெரிய கட்டடத்திற்குச் சிறிது தொலைவில் நின்று கொண்டு உரத்த குரலில் ஓர் ஒலி எழுப்புவதாக வைத்துக் கொள்வோம். (படம் 191) அவ்வொலி கட்டடத்தில் சென்று மோதி, எதிரொலித்து, மீண்டும் நம் காதுகளில் விழுமல்லவா! நாம் ஒலியை எழுப்பியதற்கும், பின் எதிரொலியைக் கேட்டதற் கும் இடையில் கழிந்த காலம், ஒலி நம்மிடமிருந்து கட்டடத் திற்குச் சென்று திரும்பி, நம்மிடம் வந்து சேர எடுத்துக்கொண்ட காலத்திற்குச் சமமாகும் அல்லவா? நமக்கும் கட்டடத்திற்கும்



படம் 191

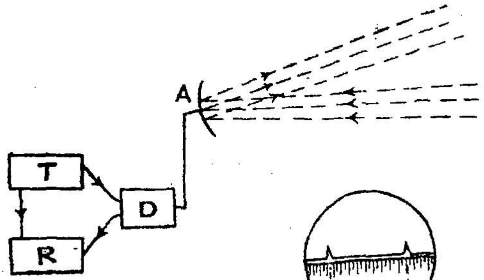
இடையே உள்ள தொலைவு d என்றும், ஒலி சென்று வர எடுத்துக் கொண்ட நேரம் t வினாடிகள் என்றும், ஒலியின் வேகம் v என்றும் கொண்டால்,

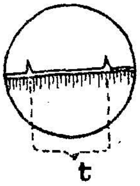
$$2d = vt \quad \text{ஆகும்.}$$

அல்லது $d = \frac{vt}{2}$ ஆகும் என அறிவோம். இதே அடிப் படையில்தான் ரேடார் இயங்குகிறது. ஒலி அலைகளுக்குப் பதிலாக ஆற்றல் மிக்க மிகச்சிறிய அலை நீளங்கொண்ட (1 முதல் 8 செ. மீ. வரை) ரேடியோ அலைத் துடிப்புகள் (pulses) பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இவை மேகம், மூடுபனி போன்ற தடை களையும் ஊடுருவிச் செல்லவல்லவை. இத்தகைய துடிப்புகள் மேக்னட்ரான் (Magnetron) என்ற அமைப்பின் மூலம் உண்டாக் கப்படுகின்றன. இன்னும் சிறிய அலைகளை உண்டாக்க வேண்டு மானால், க்ளைஸ்ட்ரான் (Klystron) என்ற அமைப்பைப் பயன் படுத்தவேண்டும்.

படம் 192–a மேக்னட்ரான் குழாய் அமைப்பில் உண்டாக்கப் பட்ட அலைத்துடிப்பு வலியூட்டப்பட்டு அலைப்பரப்பிக்கு (T) அனுப் பப்படுகிறது. அங்கிருந்து இணைப்பு மாற்றி அல்லது டியூப்ளக்சர் (D) என்ற கருவியை அடைந்து, அங்கிருந்து பரவளைய ஏரியலை (parabolic aerial) (A) அடைகிறது. ஏரியலின் குவியத்திலிருந்து வெளிவிடப்படும் அலைத்துடிப்புகள் குறிப்பிட்ட திசையில் செல்லக்கூடிய திசை வழிபட்ட மெல்லிய கற்றையாக வெளியேறுகின்றன. இக்கற்றை ஒளியின் வேகத்தில் சென்று, எதிர்ப்படும் பொருளின்மீது பட்டு, எதிரொளித்து, ஒரு சில மைக்ரோ வினாடிகளுக்குள் (ஒரு வினாடியில் 10 இலட்சத்தில் ஒரு பங்கிற்கு ஒரு மைக்ரோ வினாடியாகும்) மீண்டும் ஏரியலை வந்து சேர்கிறது. எதிரொளிக்கப்பட்ட அலை ஏரியலை வந் தடையும்போது, ஏரியலை அலை அனுப்புவதை நிறுத்திவிட்டு, அலையை ஏற்பதற்குரிய நிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்போது அந்த ஏரியல் டியூப்ளக்சரின் உதவியால் ஏற்பி (receiver) யுடன் (R) இணைக்கப்பட்டு விடும். இதிலுள்ள ஏற்பியுடன் கேதோட் கதிர் ஆசிலோகிராஃப் ஒன்று இணைக்கப் பட்டிருக்கும். இதன் உதவியால் அலைத்துடிப்பு மீண்டும் வந்து சேர்ந்துவிட்டதை அறிவதுடன், அலையை எதிரொளித்த பொருள் (இலக்கு) எவ்வளவு தொலைவில் இருக்கிறது என்று அளவிடவும் பயன்படுகிறது. ஆசிலோகிராஃப் அலைபரப்பி யுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். அலைத் துடிப்பு வெளியேறும்

போது அதன் ஒரு பகுதி ஆசிலோகிராப்பின் செங்குத்து இணைத் தகடுகளுக்குத் தரப்படுகிறது இதனால் ஆசிலோகிராஃபில் கிடைமட்டத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் ஒளிப் புள்ளியில் ஒரு துள்ளல் (hump) காணப்படும். [படம் 192-b]





படம் 192 (a) படம் 192 (b)

பின்னர்த் தொடர்ந்து அப்புள்ளி நேர்கோட்டில் நகரும் அலை பரப்பி துடிப்பு அனுப்புவதை நிறுத்திவிட்டு எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்புக்காகக் காத்திருக்கும்போது, ஆசிலோகிராஃபில் கிடைமட்ட ஒளிக்கோடு காட்சியளிக்கும். பின்னர் எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்பு ஏரியலில் பட்டு ஏற்பிக்கு அனுப்பப்பட்டு, வலுவூட்டப்பட்ட பின்னர், ஆசிலோகிராஃபின் செங்குத்துத் தகடுகளுக்குத் தரப்படுவதால், மீண்டும் ஒளிக் கோட்டில் ஓர் இடத்தில் துள்ளல் ஏற்படுவதைக் காணலாம். முதல் துள்ளல் ஏற்படுவதற்கும் இரண்டாவது துள்ளல் ஏற்படுவதற்கும் இடையே கழியும் காலம், துடிப்பு ஏரியலிருந்து வெளியேறியதற்கும் பின் மீண்டும் ஏரியலைவந்து அடைந்ததற்கும் இடையே கழிந்த காலத்திற்குச் சமமாகும் என அறியலாம். இந்தக் கால இடைவெளி சில நூறு மைக்ரோ விநாடிகளுக்குள்ளே தான் இருக்கும். எனவே, நம் கண்ணுக்கு இருக்கின்ற பார்வை நிலைநிறுத்தல் (persistance of vision) பண்பு காரணமாக இரு துள்ளல்களுமே கண்ணுக்குத் தெரியும் [படம் 192 (b) பார்க்க]. ஆசிலோகிராஃபில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் விநாடி அளவு கோலில் இவ்விரு துள்ளல்களுக்கும் இடையே உள்ள காலத்தை (t) அளவிடலாம். ரேடார் நிலையத்திற்கும், இலக்கத்திற்கும் இடையே உள்ள தொலைவு D என்றும், ஒளியின் வேகம் C என்றும் கொண்டால், $D = \frac{Ct}{2}$ ஆகும்.

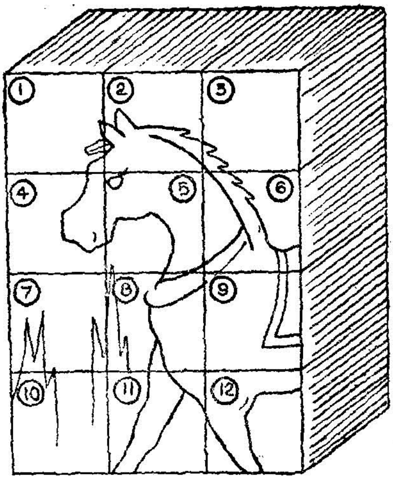
எடுத்துக்காட்டாக இலக்கு 200 மைல் தொலைவில் மணிக்கு 300 மைல் வேகத்தில் ஓர் ஆகாய விமானம் நகர்ந்து கொண்டிருக்கிறது என்று வைத்துக் கொள்வோம். ஒளி போய் வர வேண்டிய தொலைவு $200+200=400$ மைல்களாகும். ஒளியின் வேகம் விநாடிக்கு 186,000 மைல்களாகையால், இதற்கு ஆகும் காலம் $\frac{400}{186000}=\frac{1}{465}$ விநாடிகளேயாகும். இந்தக் குறுகிய காலத்தில் அந்த இலக்கு நகரக் கூடிய தொலைவு $\frac{300\times5280}{60\times60}\times\frac{1}{465}=\frac{440}{465}$ அடிதான். அதாவது நாம் விமானத்தை ரேடார் மூலம் தேடத் தொடங்கிய பிறகு, நாம் அதைக் கண்டு பிடிப்பதற்குள் அது தன்னிலையிலிருந்து ஓர் அடி கூட நகர்வதற்கு முடியாது. அதற்குள் நாம் அது இருக்கும் தொலைவையும், இடத்தையும் அளவிட்டு விடலாம். அலை பரப்புவதற்கும், ஏற்பதற்கும் ஒரே ஏரியலைப் பயன்படுத்துவதால், அதைக் குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப் பரப்பியுடனும், பின்னர் ஏற்பியுடனும், மீண்டும் பரப்பியுடனும், இப்படி மாற்றி மாற்றி இணைப்பதற்கான ஓர் அமைப்புத் தேவை அல்லவா? அத்தகைய அமைப்புத்தான் டியூப்ளக்சர் (Duplexer) என்பதாகும்.

குறிப்பு: ரேடார் நிலையத்தைச் சுற்றி எல்லாத் திசைகளிலும் உள்ள இலக்குகளை ஒரே சமயத்தில் கண்காணிப்பதற்காக அண்மைக்காலத்தில் பி. பி. ஐ. எனப்படும் (Plan Position Indicator) அமைப்பு உருவாக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதில் ஆசிலோகிராஃபில் உள்ள எலெக்ட்ரான் கற்றை (அதாவது ஒளிப்புள்ளி) திரையில் ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறுபக்கத்திற்கு நகர்வதற்குப் பதிலாக, திரையின் மையத்தில் துவங்கி வெளிச் சுழியாக (spiral out) நகரும்படி செய்யப்படுகிறது. சுழலும் ஏரியல் ஒன்று இத்துடன் ஒத்து இயங்கும்படி செய்யப்படுகிறது. எனவே ரேடார் நிலையத்திற்கு நாலா திசைகளிலிருந்து வருகின்ற தகவல்கள் எல்லாவற்றையும் ஒரே சமயத்தில் திரை காட்டுகிறது.

தொலைக் காட்சி
(Television)

தொலைவில் உள்ள காட்சிகளைக் காண்பதற்கு உரிய சாதனம் தான் தொலைக்காட்சி என்றழைக்கப்படும் டெலிவிஷன் ஆகும்.

நாம் சிறு குழந்தைகள் விளையாடுவதற்கு 12 சதுரக் கட்டைகள் கொண்ட ஒரு சாதனத்தை வாங்கிக் கொடுப்பது உண்டல்லவா ?



படம் 193

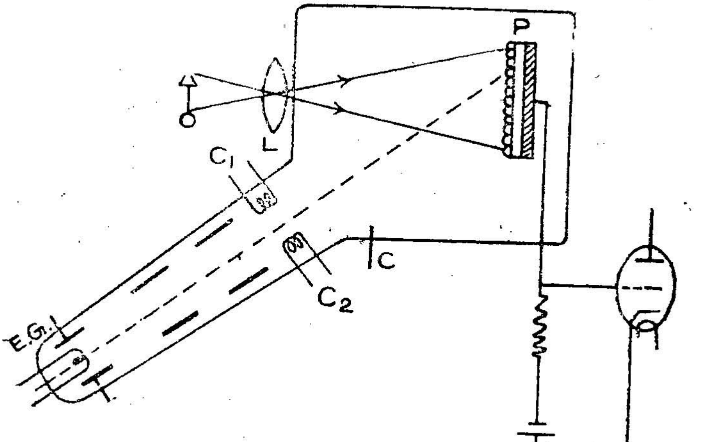
(படம் 193) அதில் ஒவ்வொரு கட்டையின் ஏதாவது ஒரு பக்கத்தில் ஏதாவது ஒரு மிருகத்தின் படத்தின் ஒரு பகுதி ஒட்டப்பட்டிருக்கும். இவ்வாறு ஒரே அளவுள்ள ஆறு மிருகங்களின் படத்தை எடுத்துக்கொண்டு ஒவ்வொரு படத்தையும் 12 சம பாகங்களாக வெட்டி ஒவ்வொரு கட்டையின் ஏதாவது ஒரு பக்கத்தில் மட்டும் ஒரு துண்டு வீதம் ஒட்டி வைக்கப்பட்டிருக்கும். குழந்தை அந்தக் கட்டைகளை குறிப்பிட்ட முறையில் வரிசையாக அடுக்குமானால் ஏதாவது ஒரு மிருகத்தின் படம் (படம் 193) கிடைக்கும் அல்லவா. இதில் படம் முழுமையாக ஓரிடத்திலிருந்து இன்னொரு இடத்திற்கு அனுப்பப்படவில்லை ஒரு இடத்தில் துண்டு துண்டாக வெட்டப்பட்ட படம் இன்னொரு இடத்தில் முறையாக ஒரு ஒழுங்குடன் அமைக்கப்படுவதால் மீண்டும் முழுமையான படமாகிவிடுகிறது. இதே முறைதான் தொலைக்காட்சியில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு படம் என்பது வெள்ளைப் புள்ளிகளும் கருப்புப் புள்ளிகளும் ஏதோ ஓர் ஒழுங்கில் அமைவதால் உண்டாகிறது. இருளில் அறிவிப்புப் பலகை ஒன்றில் உள்ள செய்தியை சிறிய புள்ளி ஒளி தரும் டார்ச் விளக்கின் உதவியால், வரி வரியாகப் படிப்பதைப் போல நாம் படத்தை குறிப்பிட்ட ஒரு சாதனத்தின் மூலம் வரி வரியாகப் பார்க்கலாம் அல்லவா. அவ்வாறு நாம் படத்தை வரி வரியாகப் பார்க்கும்போது பார்த்த ஒவ்வொரு பகுதியையும்

அதன் ஒளிச் செறிவுக்குத் தக்கப்படி ஒளி மின்கலங்களின் உதவியால் மின் குறிப்புகளாக மாற்றி அனுப்பலாம். படத்தை வரி வரியாகப் பார்க்கப் பார்க்க அந்நிகழ்ச்சி தொடர்ந்து மின் குறிப்புகளாக மாற்றப்பட்டுத் தொடர்ந்து அனுப்பப்படுவதாகக் கொள்வோம். அவ்வாறு அனுப்பப்பட்ட மின் குறிப்புகள் ரேடியோ அலைகளைப் போலவே ஏற்பி ஒன்றால் வாங்கப்பட்டு வலுவூட்டப்படுகிறது. அவ்வாறு வலுவூட்டப்பட்ட மின் குறிப்புகள் மீண்டும் ஒளியாக மாற்றப்பட்டு வரிசையாக அடுக்கப்படும்போது அங்குப் பார்த்த படம் இங்குக் கிடைக்கிறது.

தொலைக்காட்சிக் கருவியில் இரு பகுதிகள் உள்ளன. (1) இக்னஸ்கோப், (2) கினஸ்கோப். இக்னஸ்கோப் என்பது ஒரு கேமிரா ஆகும். காட்சிப் பொருளைப் பார்த்து அதிலுள்ள ஒவ்வொரு பகுதியின் ஒளியையும் ஒழுங்கான ஒரு வரிசையில் மின் குறிப்புகளாக (electrical signal) மாற்றுகிறது. இக் குறிப்புகள் வலுவூட்டப்பட்டு ரேடியோ அலைகளைப் போலவே ஏரியலின் உதவியால் பரப்பப்படுகின்றன.

கினஸ்கோப் என்பது அவ்வாறு அனுப்பப்பட்ட அலைகளை ஏற்று வலுவூட்டி மின் குறிப்புகளை அவை வந்து சேர்ந்த வரிசைப் படி ஒளிக் குறிப்புகளாக (light signals) மாற்றும் கருவியாகும்.

இக்னஸ்கோப் (Iconoscope)



O : பொருள். P : ஒளி உணர்வுத் தகடு
E.G. : எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி. C : ஏற்புவாய்
$C_1 C_2$: எலெக்ட்ரான் கற்றையை அலைக்கும் சுருள்கள்

படம் 194

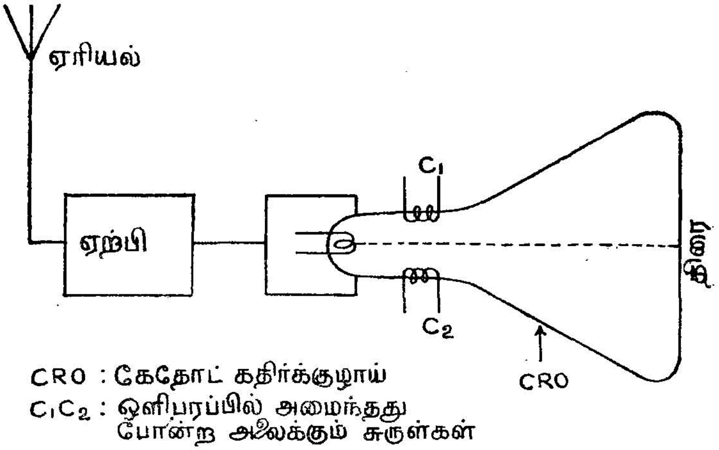
படம் 194-ல் P என்ற ஒரு மைக்காத் தகடு உண்டு. அதன் முகத்தில் சீஷியம் சிறு சிறு உருண்டைகள் வடிவில் படியச் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுருண்டைகள் ஒன்றை ஒன்று தொடாத வாறுள்ளன. மைக்காத் தகட்டின் மறுபக்கத்தில் உலோகப்படிவு உண்டாக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒளி பரப்பப்பட வேண்டிய பொருள் அல்லது படம் லென்சுகளின் உதவியால் P என்ற ஒளி உணர்வுத் தகட்டின்மீது பிம்பமாக விழச் செய்யப்படுகிறது. அப்போது அத் தகட்டின்மீது விழுகின்ற பிம்பப் பகுதிகளின் ஒளிச் செறிவிற்கு ஏற்றவாறு அப் பகுதியில் உள்ள ஒளி உணர்வு உருண்டைகள் வெவ்வேறு அளவுடைய எலெக்ட்ரான்களை இழக்கின்றன. இவ்வாறு உமிழப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின்னழுத்த நிலையில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஏற்புவாய் ஒன்றால் ஈர்க்கப்பட்டு வெளியேறுகின்றன. மைக்காத் தகட்டின் ஒரு முகத்தில் இதனால் நேர் மின்னூட்டம் உண்டாகிறது. எனவே, மைக்காத் தகட்டின் மறுபக்கத்தில் எதிர் மின்னூட்டம் தூண்டப்படுகிறது, இப்போது இக்னஸ்கோப்பின் எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி (electron gun) மெல்லிய எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்றை மைக்காத் தகட்டின் ஒரு மூலையில் தொடங்கி வரி வரியாக இடமிருந்து வலமாகப் படும்படி செய்கிறது. இந்த எலெக்ட்ரான் கற்றை அந்த ஒளி உணர்வு உருண்டைகள் இழந்த எலெக்ட்ரான்களை ஈடு செய்கிறது. முதல் உருண்டையின் எலெக்ட்ரான் இழப்பு ஈடு செய்யப்பட்டதும் ஒரு மின்னழுத்த மாற்றம் மைக்காத் தகட்டின் மறு பக்கத்தில் ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு வரிசை வரிசையாக ஒளி உணர்வு உருண்டைகள் ஒவ்வொன்றும் ஈடு செய்யப்படும்போதும் மறு பக்கத்தில் மின்னழுத்த மாற்றங்கள் நிகழுகின்றன. மைக்காத் தகட்டின் மறுபக்கத்தில் உள்ள உலோகப் படிவு ஓர் அலை பரப்பி வால்வின் 'கிரிட்'டுடன் (Grid) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே ஒவ்வொரு ஒளி உணர்வு உருண்டையில் ஏற்படும் மின் மாற்றங்களும் மின் குறிப்புகளாக ஏற்பியிலிருந்து ஒளி பரப்பப்படுகிறது.

கினஸ்கோப் (Kineoscope)

ஒளிபரப்பப்பட்ட அலைகள் ஏரியல்களினால் வாங்கப்பட்டு கினஸ்கோப்புக்குள் செலுத்தப்படுகின்றன. இது ஒரு கேதோட் கதிர்க்குழாய் ஆகும். வாங்கப்பட்ட மின் குறிப்புகள் வலுவூட்டப்பட்டு கேதோட் கதிர்க்குழாயின் கிரிட்டுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இதனால் கேதோட் கதிர்க்குழாயின் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவு மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு வந்து சேரும் மின்

குறிப்புகளுக்கு ஏற்ப மாறும் செறிவுடைய எலெக்ட்ரான் கற்றை கேதோட் கதிர்க்குழாயின் ஒளிர் திரையில் படும்போது மாறும் பொலிவுடன் திரை ஒளிர்கிறது. மேலும், இந்த எலெக்ட்ரான் கற்றை, இக்னூஸ்கோப்பில் உள்ள எலெக்ட்ரான் கற்றை, மைக் காத் தகட்டின்மீது அசைகின்ற அதே போக்கில் அதே வேகத்தில் இங்குள்ள ஒளிர் திரையின்மீது அசைகிறது. இப்படித் தொடர்ந்து நடைபெறும்போது பகுதி பகுதியாக நம் கண்ணில் விழும் காட்சிப் பொருளின் பிம்பம் நம் கண்ணின் பார்வை நிலைத்தன்மை (persistance of vision) காரணமாக முழுப்படமாகத் தெரிகிறது.



படம் 195

இன்றைய உலகில் தொலைக்காட்சி ஓர் இன்றியமையாச் சாதனமாகிவிட்டது. கோவில் தொடங்கிப் பள்ளிக்கூடம் வரை, பொருட்காட்சி தொடங்கிப் போர்ப்படையின் பவனி வரை பல இடங்களில் மிக உபயோகமான வழிகளில் தொலைக்காட்சி பயன் படுத்தப்படுகிறது.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute — சார்பற்ற
Absolute refractive index — சார்பற்ற ஒளிவிலகல் எண்
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorption coefficient — உட்கவர்தல் எண்
Absorption spectrum — உட்கவர்தல் நிறமாலை
Acoustics — கட்டட ஒலியியல்
Action of point — முனைவினை
Adiabatic — வெப்ப மாற்றீடற்ற
Aerial — ஏரியல்
Algebraic sum — எண்ணியல் தொகை
Alkaline earth elements — புவிக்காரத் தனிமங்கள்
Ampere — ஆம்பியர்
Amplitude — வீச்சு
Amplitude modulation — வீச்சுப் பண்பேற்றம்
Analyser — பகுப்பான்
Ancillary lens — துணைவில்லை
Angle of incidence — படுகோணம்
Angle of reflection — எதிரொளிப்புக் கோணம்
Angle of minimum deviation — சிறுமத் திசைமாற்றக்கோணம்
Angular momentum — கோண உந்தம்
Anode — நேர்மின்வாய்
Anode glow — நேர்மின்வாய் ஒளிவீச்சு
Anode characteristic curve — நேர்மின்வாய்ப் பண்பு வரைபடம்
Antinode — எதிர்க்கணு
Anticathode — எதிரெதிர்முனை

Atom bomb — அணுகுண்டு
Atomic fission — அணுப்பிளவு
Atomic reactor — அணு உலை
Atomic number — அணு எண்
Atomiser — நுண் தெளிப்பான்
Axial line — அச்சுக்கோடு

B

Ballistic galvanometer — கணத்தாக்கு கால்வனு மீட்டர்
Band width — பட்டை அகலம்
Band spectrum — பட்டை நிறமாலை
Barium platino cynide — பேரியம் பிளாட்டினோ சைனைட்
Barlow's wheel — பார்லோ சக்கரம்
Barrier — தடைவிசை
Beam of light — ஒளிக்கற்றை
Beats — துடிப்புகள்
Biprism — இரட்டை முப்பட்டகம்
Bragg's Law — ப்ராக் விதி
Bragg's X-ray spectrometer — ப்ராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி
Bypass condenser — தடம் மாற்று மின்தேக்கி

C

Capacity — தேக்குதிறன்
Carbon arc — கரிவில் விளக்கு
Carrier — ஊர்தி
Cathode glow — எதிர்முனை ஒளிவீச்சு
Centre of curvature — வளைவு மையம்
Chain reaction — தொடர் இயக்கம்
Characteristic lines — தற்சிறப்பு வரிகள்
Charge — மின்னூட்டம்
Chromosphere — நிறமண்டலம்
Circular vernier — வட்ட வர்னியர்
Cleavage plane — பிளவுறு தளம்
Coefficient of self induction — அகமின்நிலைமத் தகவு
Coil — சுருள்

Collector — ஏற்புவாய்
Collimater — இணையாக்கி
Combined focal length — கூட்டுக் குவியதூரம்
Commutator — திசைமாற்றி
Component vibration — அதிர்வுக்கூறு
Compound wound — கூட்டுச்சுற்று
Compass box — திசைகாட்டும் பெட்டி
Concentration — செறிவு
Concave surface — குழிதளம்
Concave mirror — குழி ஆடி
Conjugate foci method — பரிமாற்றக் குவியமுறை
Conjugate position — பரிமாற்ற நிலை
Conservation of energy — ஆற்றல் மாறா
Constructive interference — ஆக்கக் குறுக்கீடு
Contact — தொடு
Continuous spectrum — தொடர் நிறமாலை
Convex mirror — குவி ஆடி
Coolidge tube — கூலிட்ஜ் குழாய்
Coulomb — கூலம்
Corresponding points — ஒத்த புள்ளிகள்
Cosmic rays — காஸ்மிக் கதிர்கள், அண்ட வெளிக் கதிர்கள்
Cosmic ray showers — காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு
Critical size — மாறுதானப் பருமன்
Cross wire — குறுக்கிழை
Crystal receiver — படிக ஏற்பி
Cut off voltage — துண்டிக்கும் மின்னழுத்தம்
Curved surface — வளைவு தளம்
Crooke's dark space — குரூக்கின் இருண்ட இடம்

D

Dark — கரிய
Dead beat — அலைவற்ற
Decay constant — சிதைவு மாறிலி
Declination — ஒதுக்கக் கோணம்
Distructive interference — அழிவுக் குறுக்கீடு
Diffraction pattern — விளிம்பு விளைவுப் பாங்கு
Diffusion — விரவிப்பரவல்

Diode receiver	—	டையோடு ஏற்பி
Dip	—	சரிவுக் கோணம்
Dip circle	—	சரிவு வட்டம்
Discharge tube	—	மின்னிறக்கக் குழாய்
Dispersion	—	நிறப்பிரிகை
Double refraction	—	இரட்டை விலகல்

E

Ear phone	—	காது குழல்
Echo	—	எதிரொலி
Elastic constant	—	மீட்சி மாறிலி
Electric oscillation	—	மின் அலைவுகள்
Electrical signals	—	மின் குறிப்புகள்
Electrodes	—	மின் முனைகள்
Electrons	—	எலெக்ட்ரான்கள்
Electron gun	—	எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி
Electro magnetic waves	—	மின்காந்த அலைகள்
Electro magnetic induction	—	மின்காந்தத் தூண்டல்
Electro motive force	—	மின் இயக்குவிசை
Electron-positron pair	—	எலெக்ட்ரான்–பாசிட்ரான் இணை
Electrostatics	—	நிலைமின்னியல்
Elliptically polarised	—	நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற
Element	—	தனிமம்
Emission spectrum	—	வெளிவிடு நிறமாலை
Equatorial line	—	மையக் குத்துக்கோடு
Eye piece	—	கண்ணருகு வில்லை

F

Faraday's Laws	—	ஃபாரடே விதிகள்
Faraday's dark space	—	ஃபாரடேயின் இருண்ட இடம்
Far infra red	—	தொலை அகச்சிவப்பு
Free space	—	கட்டற்ற இடம்
Free electron	—	கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்
Figure of merit	—	நுட்பத்தன்மை எண்
Filament	—	மின்னிழை
Field coil	—	புலச் சுருள்
Fins	—	வால் செதில்கள்

Fluorescent salt — ஒளிரும் உப்புகள்
Fluorescence — ஒளிர்தல்
Flux density — பாய்மச் செறிவு
Focal length — குவியதூரம்
Forced vibration — வலிந்த அதிர்வு

G

Galvanometer — கால்வனுமீட்டர்
Gas tube — வாயுக்குழாய்
Geiger counter — கைகர் எண்ணி
Generator — மின்னியற்றி
Generating circle — தோற்றுவிக்கும் வட்டம்
Glancing angle — சாய்கோணம்
Grid — கிரிட்
Grid bias — மாறு எதிர் மின்னழுத்தம்
Glow — ஒளிவீச்சு
Grating element — கீற்றணிக் கூறு
Grating — கீற்றணி

H

Hair pin — கொண்டை ஊசி
Half life period — அரை வாழ்வுக்காலம்
Half period zone — அரை அலைவு நேரப்பகுதி
Half shade — அரை நிழல்
Harmonics — சுர அடுக்குகள்
Homogeneous — ஒருபடித்தான
Horizontal intensity — கிடைமட்டப் புலச்செறிவு
Hot junction — சுடு சந்திப்பு
Humidity — ஈரப்பத நிலை
Hump — துள்ளல்
Hydrogen bomb — ஹைட்ரஜன் குண்டு
Hysterisis — தயக்க நிலை
Hysterisis loop — தயக்கநிலைக் கண்ணி

I

Ice berg — பனிப்பாறை
Incident ray — படுகதிர்

Incident wave front	— படு அலைமுகப்பு
Inclined mirrors	— சாய்வு ஆடிகள்
Inductance	— மின் நிலைமம்
Induction coil	— தூண்டு சுருள்
Individuality	— தனித்தன்மை
Infinity	— வரம்பிலா
Infinite point	— தொலைப்புள்ளி
Infra red	— அகச்சிவப்பு
Ionising power	— அயனியாக்கத் திறன்
Initial phase	— தொடக்க நிலை
Integration constant	— தொகுப்பு மாறிலி
Intensity	— செறிவு
Interference fringes	— குறுக்கீட்டு வரிகள்
Interference pattern	— குறுக்கீட்டுப் பாங்கு
Internal resistance	— அக மின்தடை

J

Jockey	— ஊர்திச் சாவி
Junction	— சந்திப்பு

L

Lamp & scale	— விளக்கு-அளவுகோல் அமைப்பு
Laplace's Law	— லாப்லாஸ் விதி
Laue spots	— லாவேப் புள்ளிகள்
Law of disintegration	— சிதைவு விதி
Laws of photo electric effect	— ஒளிமின் விளைவு விதிகள்
Layers	— அடுக்குகள்
Lymann series	— லைமன் தொடர்
Left handed	— இடஞ்சுழியான
Left hand thumb rule	— இடக்கைப் பெருவிரல் விதி
Linear density	— நீள அடர்த்தி
Linear time base	— நேர்கோட்டுக் கால அடி
Lenz's Law	— லென்ஸ் விதி
Lightening arrester	— மின்னல் தடுப்பான்
Liquid lens	— திரவவில்லை
Longitudinal wave	— நெடுக்கு அலை

M

Magnetic meridian — புவிகாந்தத்தளம்
Magnetic induction — காந்தத்தூண்டல்
Magnetic flux — காந்தப்பாய்மம்
Magnetic moment — காந்தத் திருப்புதிறன்
Magnetic susceptibility — காந்த ஏற்புத்திறன்
Magnetising power — காந்தமாக்குதிறன்
Main scale — முதற்கோல்
Mass — நிறை
Mass number — நிறை எண்
Mass spectrograph — நிறைமாலை வரைவி
Mass deficit — நிறைக்குறை
Mecleod gauge — மெக்லியாட் அழுத்தமானி
Medium — ஊடகம்
Melting point — உருகுநிலை
Metal brush — உலோகத் தூரிகை
Millikan's method — மில்லிகன் முறை
Microscope — நுண்ணோக்கி
Minimum — சிறுமம், சிறும மதிப்பு
Minimum size — சிறுமப் பருமன்
Moderator — மட்டுப்படுத்தி
Modulator — பண்பேற்றி
Modulation — பண்பேற்றம்
Molecular spectra — மூலக்கூறு நிறமாலைகள்
Molecular weight — மூலக்கூறு எடை
Molecular Theory — மூலக்கூறுக் கொள்கை
Moment of Inertia — நிலைமத் திருப்புதிறன்
Mono chord — ஒற்றைக் கம்பி
Monochromatic — ஒற்றை நிற
Moving coil — இயங்கு சுருள்
Mutual charecteristic curves — பரிமாற்றப் பண்பு வரைபடங்கள்

N

Natural frequency — இயல்பு அதிர்வு எண்
Natural vibrations — இயல்பு அதிர்வுகள்
Negative — எதிர்க் குறியுடைய

Neutral temperature — நடுநிலை வெப்பநிலை
Newton's rings — நியூட்டன் வளையங்கள்
Neutrons — நியூட்ரான்கள்
Node — கணு
Non-luminous — தன்னொளி அற்ற
Normal induction — செங்குத்துத் தூண்டல்
Nuclear fusion — அணுக்கரு உருக்கல்
Nucleus — அணுக்கரு
Null method — சமநிலை முறை

O

Objective — பொருளருகுவில்லை
Opaque — ஒளிபுகா
Optically active — ஒளியியல் வினையுடைய
Optical rotation — ஒளியியல் சுழற்சி
Optical axis — ஒளியியல் அச்சு
Optic bench — ஒளியியல் அளவுச் சட்டம்
Optically — ஒளியளவில்
Optic centre — ஒளி மையம்
Optical instruments — ஒளியியற் கருவிகள்
Optical electron — ஒளியியல் எலெக்ட்ரான்
Orbit diagram — சுற்றுப்பாதைப் படம்
Ordinary image — சாதாரணப் பிம்பம்
Outermost orbit — வெளிச்சுற்றுப்பாதை
Overtones — மேற்சுரங்கள்

P

Paper rider — காகித ஏறி
Parabolic aerial — பரவளைய ஏரியல்
Parallel plate condenser — இணைத்தகடு மின்தேக்கி
Parallax error — இடமாறு தோற்றப்பிழை
Partially polarised — பகுதித் தளவிளைவுற்ற
Path difference — பாதை வேறுபாடு
Paschen series — பாஷன் தொடர்கள்
Peltier effect — பெல்டியர் விளைவு
Pellet (Hg) — பாதரசக்கோலி
Percentage — விழுக்காடு
Peaks — முகடுகள், உச்சிகள்

Periods — மடக்குகள்
Periodic motion — மடக்குஇயக்கம், பருவஇயக்கம்
Periodic table — தனிம அட்டவணை, மடக்கு நிலை அட்டவணை
Permittivity — செலுத்துகைத்திறன்
Permeability — காந்தக் கடத்துதிறன்
Permeability (absolute) — சார்பற்ற கடத்துதிறன்
Persistance — நிலைப்புத்தன்மை
Photo electric effect — ஒளிமின் விளைவு
Photo electron — ஒளி எலெக்ட்ரான்
Photo electric cell — ஒளி மின்கலம்
Photo sphere — ஒளி மண்டலம்
Phase difference — நிலை வேறுபாடு
Pile of plate — தகட்டு அடுக்கு
Pin hole — ஊசித்துளை
Pivoted type — கூர்முனை வகை
Plane wave front — சமதள அலைமுகப்பு
Plane of vibration — அதிர்வுறு தளம்
Plate current — தகட்டு மின்னோட்டம்
Plate circuit — தகட்டுச் சுற்று
Plate — தகடு
Polariscope — தளவிளைவு காட்டி
Polariser — தளவிளைவாக்கி
Polaroid — பொலராய்ட்
Potential gradient — மின்னழுத்தச் சரிவு
Potentiometer — மின்னழுத்தமானி
Positive half cycle — நேர் அரைச்சுற்று
Postulates — அடிக்கோள்கள்
Primary coil — முதன்மைச் சுற்று
Primary cosmic rays — முதன்மைக் காஸ்மிக்கதிர்கள்
Prism table — முப்பட்டக மேடை
Principle of reversal — எதிர்த் தத்துவம்
Principal focus — முதன்மைக் குவியம்
Principal axis — முதன்மை அச்சு
Principal plane — முதன்மைத் தளம்
Principle — கோட்பாடு
Previlage orbit — சலுகைப்பாதை
Pulses — துடிப்புகள்

Q

Quantum Theory — குவாண்டம் கொள்கை
Quarter wave plate — கால் அலைத்தகடு
Quadrant electrometer — கால்வட்ட எலெக்ட்ராமீட்டர்
Quantum number — குவாண்டம் எண்

R

Readings — அளவுக்குறிப்புகள், அளவீடுகள்
Real image — மெய்ப்பிம்பம்
Receiver — ஏற்பி
Rectification — திருத்தல்
Rectilinear — நேர்கோட்டு வகையான
Reciprocal — தலைப்புமாற்றுப் பின்னம்
Reflection — எதிரொளிப்பு
Reflected ray — எதிரொளிப்புக் கதிர்
Refracted wave front — விலக்கமுற்ற அலைமுகப்பு
Resistance — மின்தடை
Resolving power — பகுதிறன்
Resonance — ஒத்ததிர்வு
Restoring couple — மீட்பு இரட்டை
Rheostat — மின்தடை மாற்றி
Rhombohedral — சாய்துாரப்பட்டைவடிவமுள்ள
Right handed — வலஞ்சுழியான
Reverbrations — எதிர் முழக்கம்
Resultant field — விளைவுப்புலம்
Rydberg constant — ரிட்பர்க் மாறிலி

S

Same phase — ஒத்த நிலை
Saturation — தெவிட்டு நிலை
Saw tooth potential — வாள் பல் மின்னழுத்தம்
Secondary — பின்வரு
Seebeck effect — சீபெக் விளைவு
Self luminous — தன்னொளி படைத்த
Selective absorption — தேர்ந்து உட்கவர்தல்
Series wound — தொடர்சுற்று

Segment — இடைப்பகுதி
Shells — கூடுகள்
Simple harmonic motion — சீரிசை இயக்கம்
Single optic lever — ஒற்றை ஒளி நெம்புகோல்
Signals — நிகழ்ச்சிக்குறிகள்
Slits — மெல்லிய பிளவுகள்
Slip rings — வழுக்கு வளையங்கள்
Soft iron — தேனிரும்பு
Specific charge — மின்னூட்ட நிறைத்தகவு
Specific rotatory power — தன்திருப்பு எண்
Spectrograph — நிறமாலை வரைவி
Spectroscopy — நிறமாலை இயல்
Spectroscope — நிறமாலைகாட்டி
Spiral paths — சுழிப்புப்பாதை
Spiral out — வெளிச்சுழிப்பாக
Spiral spring — சுழிப்புச்சுருள்
Steady discharge — சீரான மின்னிறக்கம்
Step down transformer — இறக்கி மின்மாற்றி
Step up transformer — ஏற்றி மின்மாற்றி
Stationary waves — நிலை அலைகள்
Super conductivity — மிகு கடத்துநிலை
Superpose — மீதூர்தல்
Suspended type — தொங்குவகை
Specific resistance — மின்தடை எண்
Shunt — தடம் மாற்றி
Shunt wound — இணைச்சுற்றுக
Standard — படித்தரமான, படித்தர

T

Tangential — தொடுவியலான
Target — இலக்கு
Television — தொலைக்காட்சி
Telescope — தொலைநோக்கி
Temperature of inversion — தலைகீழ்மாற்ற வெப்பநிலை
Tension — இழுவிசை
Terminals — திருகுமுனைகள்
Terrestrial telescope — புவித் தொலைநோக்கி
Theory — கொள்கை
Thermionic work function — வெப்ப அயனிவேலை சார்பலன்

Thermo electric effect — வெப்ப மின் விளைவு
Thermo couple — வெப்ப மின் இரட்டை
Thermo electric current — வெப்ப மின்னோட்டம்
Thermo e.m.f. — வெப்ப மின்னியக்குவிசை
Thermo nuclear reaction — வெப்ப அணுக்கருமாற்றம்
Thickness — தடிப்பு
Thin film — மென்தகடு
Thompson Effect — தாம்சன் விளைவு
Thoriated tungsten — தோரிய டங்ஸ்டன்
Thorium oxide — தோரியம் ஆக்சைடு
Threshold frequency — பயன்தொடக்க அதிர்வு எண்
Transverse waves — குறுக்கு அலைகள்
Transmitter — அலை பரப்பி
Transformer — மின் மாற்றி
Translucent — ஒளிகசியும்
Triode receiver — ட்ரையோடு ஏற்பி
Triode amplifier — ட்ரையோடு பெருக்கி
Trough — அகடு, தொட்டி
Tuning circuit — இசைவுச்சுற்று
Turbine — சுழலி
Tuning fork — ஒலிக்கவை

U

Ultrasonics — புலனாகா ஒலி
Uranium series — யுரேனியம் தொடர்
Ultra-violet — புற ஊதா
Uses — பயன்கள்

V

Variable condenser — மாறுமின்தேக்கி
Variable potential — மாறுமின்னழுத்தம்
Valence electron — கூடுதிறன் எலெக்ட்ரான்
Valve oscillator — வால்வு அலைப்பான்
Vibration magnetometer — அலைவு காந்தமானி
Violet — ஊதா
Virtual Image — மாயபிம்பம்
Viscous action — பாகுநிலைச் செயல்

W

Watt — வாட்
Wave front — அலை முகப்பு
Wave Theory — அலைக்கொள்கை
Wedge — ஆப்பு
Working point — செயற்புள்ளி

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை-600031

★

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாட நூல்கள்
(Tamil Medium Books for Colleges)
1976 ஜனவரி வரை 700 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன

★

மேலும், விரைவில் வெளிவருபவை

பொறியியல்	—	39	நூல்கள்
மருத்துவம்	—	18	,,
இயற்பியல்	—	23	,,
வேதியியல்	—	20	,,
தாவரவியல்	—	13	,,
விலங்கியல்	—	14	,,
கணிதம்	—	17	,,
வணிகவியல்	—	37	,,
பொருளாதாரம்	—	21	,,
புவியியல்	—	11	,,
வரலாறு	—	29	,,
மனையியல்	—	1	,,
தத்துவம்	—	4	,,
உளவியல்	—	8	,,
புள்ளியியல்	—	8	,,
கல்வி	—	15	,,
நிலப்பொதியியல்	—	6	,,
அரசியல்	—	19	,,

கிடைக்குமிடம் :

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக் கிடங்கு
(கல்லூரிக் கல்வி இயக்குநர் அலுவலகச் சுற்றுக்குள்)
கல்லூரிச் சாலை, நுங்கம்பாக்கம்,
சென்னை-600006

கல்லூரிப் பாடநூல்களுக்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்